SAMMLUNG VON ABHANDLUNGEN
ZUR PSYCHOLOGISCHEN PÄDAGOGIK
AUS DEM »ARCHIV FÜR DIE GESAMTE PSYCHOLOGIE«
HERAUSGEGEBEN VON E. MEUMANN
II. BAND – 2. HEFT

DAS WETTER UND UNSERE ARBEIT

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS DER METEOROLOGISCHEN FAKTOREN AUF DIE KÖRPERLICHE UND SEELISCHE ARBEITSFÄHIGKEIT

VON

ALFR. LEHMANN UND R. H. PEDERSEN
DIREKTOR DES PSYCHOPHYSISCHEN LABORATORIUMS DER UNIVERSITÄT ZU KOPENHAGEN
LEHRER AN DER VOLKSSCHULE ZU KOPENHAGEN

MIT ZWANZIG FIGUREN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1907

:: VERLAG VON WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG ::

Sammlung von Abhandlungen zur psychologischen Pädagogik

herausgegeben von **E. Meumann**

1. Heft: ... und Er- ... M 2.—.
2. Heft: ... 95—1903. ... M 2.—.
3. Heft: ... die Haus- ... Pädagogik. ... M 2.—.
4. Heft: ... ndes. Ein ... M 2.40.
5. Heft: ... sychologie ... ner Figur ... M 4.50.

1. Heft: ... ellen und ... 2 Figuren ... hen Aus- ... M 1.80.
2. Heft: ... re Arbeit. ... ologischen ... Mit 20 Fi- ...

Entste... Kinde

(S... .)

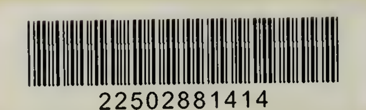
Psychologische Arbeiten

herausgegeben von

Emil Kraepelin,

Professor in München

Die »Psychologischen Arbeiten« erscheinen in zwanglosen Bänden zu je 4 Heften. Der Preis des Bandes beträgt etwa 20 bis 30 Mark. Bisher erschienen 5 Bände; ausführliches Inhaltsverzeichnis darüber steht gern zu Diensten.





SAMMLUNG

VON

ABHANDLUNGEN ZUR PSYCHOLOGISCHEN PÄDAGOGIK

AUS DEM »ARCHIV FÜR DIE GESAMTE PSYCHOLOGIE«

HERAUSGEGEBEN VON

E. MEUMANN

PROFESSOR DER PHILOSOPHIE AN DER UNIVERSITÄT MÜNSTER

ZWEITEN BANDES ZWEITES HEFT

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1907

DAS WETTER UND UNSERE ARBEIT

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS DER METEOROLOGISCHEN FAKTOREN AUF DIE KÖRPERLICHE UND SEELISCHE ARBEITSFÄHIGKEIT

VON

ALFR. LEHMANN
DIREKTOR DES PSYCHOPHYSISCHEN LABORATORIUMS DER UNIVERSITÄT ZU KOPENHAGEN

UND

R. H. PEDERSEN
LEHRER AN DER VOLKSSCHULE ZU KOPENHAGEN

MIT ZWANZIG FIGUREN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1907

Inhaltsübersicht.

Einleitung: Seite

1) Plan der vorliegenden Untersuchungen . . . . [3] 99
2) Die meteorologischen Beobachtungen . . . . [10] 106
3) Die Methodik der Beziehungsbestimmungen . . . . . [16] 112

Die Muskelarbeit:

4) Apparate und Versuchsanordnung . . . . [29] 125
5) Einfluß der Beschäftigung und der Übung . . . . . . [35] 131
6) Abhängigkeit der Muskelkraft von der Lichtstärke . . . [42] 138
7) Abhängigkeit der Muskelkraft von der Temperatur . . . [46] 142
8) Abhängigkeit der Muskelkraft von dem Luftdrucke . . . [56] 152
9) Die Tatsachen und ihre Erklärung . . . . [70] 166

Psychische Arbeiten:

10) Schwankungen der Disposition . . . . [75] 171
11) Verschiedene Arten psychischer Arbeiten . . . . . . [80] 176
12) Die Additionsgeschwindigkeit . . . . [96] 192
13) Das Auswendiglernen . . . . [100] 196
14) Schluß . . . . [105] 201

(Sonderdruck aus dem »Archiv für die gesamte Psychologie« Bd. X, Heft 1/2.)

Einleitung.

1) Plan der vorliegenden Untersuchungen.

Aus verschiedenen physiologischen Untersuchungen geht als Resultat hervor, daß die vegetativen Funktionen und die davon abhängigen physiologischen Erscheinungen sich nicht das ganze Jahr hindurch konstant erhalten, sondern von den Jahreszeiten abhängige Schwankungen aufweisen. So wies E. Smith durch Analyse der Respirationsluft nach, daß die Atmung ein Maximum im Frühjahr und ein Minimum gegen Ende des Sommers und am Anfange des Herbstes hat[1]. Später fand N. Finsen, daß auch der Hämoglobingehalt des Blutes periodisch variiert[2], ein Maximum im Nachsommer und ein Minimum im Winter zeigend. Das Maximum des Hämoglobingehaltes wird einige Zeit vor dem Minimum der Respiration, und umgekehrt, das Minimum des ersteren kurz vor dem Maximum der letzteren erreicht. Dies läßt sich, der Ansicht Finsens zufolge, zum Teil dadurch erklären, daß die Vergrößerung oder Verkleinerung der Hämoglobinmenge durch eine Verminderung bzw. Vergrößerung der Atmung kompensiert wird. In betreff der Schwankungen des Hämoglobingehaltes meint Finsen, sie seien direkte biologische Wirkungen des Sonnenlichtes, könnten jedoch

1) Inquiries into the phenomena of respiration. Proceedings of R. S. of London. 1859. Vol. IX. S. 613.

2) Om periodiske aarlige Svingninger i Blodets Hämoglobinmängde. Hospitalstidende 1894. Nr. 49—50.

auch von der Temperatur beeinflußt werden. Aus seinen Untersuchungen scheint jedenfalls hervorzugehen, daß ein kalter Winter geringere Werte des Hämoglobingehaltes als ein milder ergibt. Die Kurve *A*, Figur 1, stellt die periodische Variation der Hämoglobinmenge während eines Jahres nach Finsens Arbeit dar.

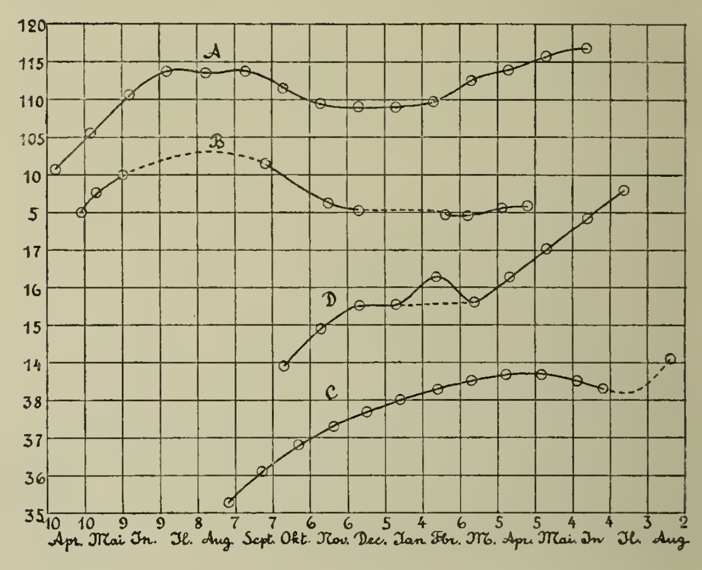


Fig. 1.

Nach den plethysmographischen Untersuchungen Lehmanns zeigen sich periodische Schwankungen der Herztätigkeit[1]), die denjenigen des Hämoglobingehalts entsprechen, indem die Pulshöhe im Sommer größer als im Winter ist. Die Kurve *B* der Figur 1 zeigt die Variationen der Pulshöhe einer einzelnen Versuchsperson[2]); diese Kurve wurde folgendermaßen bestimmt. An den Plethysmogrammen wurden zehn Pulshöhen gemessen und die mittleren Werte dieser Größen für drei aufeinander folgende Versuchstage berechnet; diese Mittelwerte sind als Ordinaten in der Mitte der betreffenden Versuchsperioden abgesetzt. Während der durch die punktierten Teile der Kurve angegebenen Zeit wurden keine Messungen angestellt. Es ist übrigens zweifelhaft, ob

1) Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 1. Teil. Leipzig 1899. S. 210–212.

2) a. a. O. Atlas. Tab. LXVI. A. L.

die vollgezeichneten Strecken der Kurve genau vergleichbar sind, da die registrierenden Apparate in der Zwischenzeit mit neuen Gummimembranen versehen wurden. Größere Veränderungen der absoluten Pulshöhe können jedoch nicht durch diesen Wechsel verursacht sein, so daß die Kurve *B* hierdurch nur wenig verunstaltet sein kann. Da außerdem dieselbe periodische Variation der Pulshöhen bei verschiedenen anderen Versuchspersonen beobachtet wurde, darf eine Beziehung der beiden Erscheinungen, der Variationen des Hämoglobingehaltes und der der Pulshöhe, wohl als wahrscheinlich angesehen werden. Ob übrigens das Maximum und das Minimum der Pulshöhen eben dort liegen, wo sie in der Figur gezeichnet sind, muß dahingestellt bleiben; die plethysmographischen Untersuchungen bezweckten nicht die Bestimmung der periodischen Variationen, so daß das Versuchsmaterial in dieser Beziehung unzulänglich ist.

Nach den mehrjährigen Untersuchungen Malling-Hansens sind auch sowohl die Gewichtzunahme als das Höhenwachstum der Kinder periodische Tätigkeiten[1]). Die Gewichtzunahme ist im Herbste am größten, und wird dann den ganzen Winter hindurch bis Anfang des Frühlings immer kleiner. Ungefähr vom April ab fängt die Gewichtzunahme an, negativ zu werden, so daß das Gewicht der Kinder bis in den Juli hinein sinkt, um dann wieder zu steigen. Die Gewichtzunahme hat also ihr Maximum im Herbste und ihr Minimum im Anfang des Sommers; diese jährliche periodische Variation des Gewichtes eines Kindes ist durch die Kurve *C* der Figur 1 veranschaulicht. Die Kurve gibt nicht, wie diejenigen Malling-Hansens, die tägliche Gewichtzunahme sämtlicher Kinder, sondern deren mittleres Gewicht an. Diese Mittelwerte sind übrigens aus den täglichen Gewichten einer vierwöchentlichen Periode berechnet, und jeder Mittelwert ist auf die Mitte der betreffenden Periode bezogen. Den Berechnungen sind die Zahlen des letzten Jahres, in welchem die Untersuchungen angestellt wurden, zugrunde gelegt; das Jahr ist von den Sommerferien 1884 bis zu den Sommerferien 1885 gerechnet. In dieser Zeit veränderte sich die Anzahl der Kinder nur einmal, indem ein Kind abging; es war daher leicht, das Gewicht dieses Kindes auszuschalten. Der punktierte

1) Perioden im Gewicht der Kinder und in der Sonnenwärme. Fragment III A u. B. Kopenhagen 1886.

Teil der Kurve ist nach der Gewichtzunahme in dieser Periode des vorigen Jahres berechnet.

Durch die gleichzeitig mit den Wägungen ausgeführten Höhenmessungen der Kinder fand Malling-Hansen, daß auch das Höhenwachstum einen periodischen Verlauf hat, und er meinte dartun zu können, daß das Höhenwachstum in umgekehrtem Verhältnis zur Gewichtzunahme stehe, indem dasselbe sein Maximum im Frühjahr und sein Minimum im Herbste habe. Die Höhenmessungen müssen aber, ihrer Natur zufolge, mit recht bedeutenden zufälligen Fehlern behaftet sein, und im Verhältnis zu diesen Fehlern sind die jährlichen periodischen Schwankungen sehr wenig hervortretend. Außerdem ist die Bearbeitung dieses Materials nicht so gründlich, daß das Resultat, hinsichtlich der Zuverlässigkeit, demjenigen der Wägungen gleichgestellt werden könnte.

Nach allem Angeführten liegt der Schluß nahe, daß die physische Energie des Körpers ebenfalls im Laufe des Jahres periodischen Variationen unterliegt. Da die Intensität der vegetativen Funktionen im Winter herabgesetzt ist, so wirkt, aller Wahrscheinlichkeit nach, der Winter auch in andern Beziehungen hemmend auf den Körper ein, so daß z. B. die Muskelkraft sich in dieser Zeit verhältnismäßig klein erweist. Experimentell sind diese Verhältnisse indes nur wenig untersucht; in betreff der Muskelkraft gibt es, unseres Wissens, nur eine einzige Reihe Messungen, von Schuyten ausgeführt. Die Untersuchungen wurden einmal monatlich, um den 15. jeden Monates, mittels eines Dynamometers, an Schulkindern in Antwerpen angestellt[1]). Das Resultat ist in der Kurve *D* der Figur 1 wiedergegeben. Die Muskelkraft nimmt, wie ersichtlich, im Frühjahr und Herbste stark zu; die Veränderungen im Winter sind dagegen recht sonderbar. In den Monaten Dezember, Januar und März hat die Muskelkraft ungefähr eine konstante Größe, während sie im Februar eine starke Zunahme aufweist. Diese Zunahme widerspricht allen Erwartungen, so daß man geneigt sein könnte, anzunehmen, sie sei durch besondere Umstände verursacht und der normale Verlauf der Kurve sei der durch die punktierte Linie angegebene. In diesem Falle würde die Kurve

1) Über Wachstum der Muskelkraft bei Schülern während des Schuljahres. Zeitschr. f. Psych. Bd. 23. S. 101.

der Muskelkraft mit den übrigen Kurven der Figur 1 übereinstimmen. Um möglicherweise unter den meteorologischen Verhältnissen etwas zu finden, das die erwähnte Sonderbarkeit erklären könnte, haben wir das Material der meteorologischen Station Uccle, die Antwerpen am nächsten liegt, untersucht und gefunden, daß die mittlere Temperatur des Tages Anfang Februar von — 2,0° bis auf + 13,3° stieg. Nach dem 15. Februar sank die Temperatur wieder bis auf ein Minimum, — 1,2° am 28. Februar, wonach sie wieder, aber ziemlich langsam, stieg. Um die Zeit, wo die Messungen im März stattfanden, war die mittlere Temperatur 0,6°. Wenn man also überhaupt annehmen darf, daß Temperaturveränderungen innerhalb der angegebenen Grenzen die Muskelkraft beeinflussen können, lassen sich ihr relativ hoher Wert im Februar und ihre geringe Größe im März durch das frühlingsartig milde Wetter im Februar erklären. Der Luftdruck war in der Zeit sowohl vor den Messungen als während derselben relativ niedrig (im Februar etwa 750 mm und im März etwa 743 mm), so daß dieser Unterschied wohl kaum die Schwankungen der Muskelkraft verursacht haben kann, ganz davon abgesehen, daß eine Beeinflussung der Muskelkraft seitens des Luftdruckes durchaus nicht dargetan ist. Eine nähere Diskussion der Resultate Schuytens ist indes, wegen der geringen Anzahl der Messungen, kaum möglich. Schuyten selbst äußert sich nicht über die Ursachen der negativen Gewichtzunahme im März, er sagt nur: ». . . hierdurch werden die Untersuchungen und Meinungen der Gelehrten bestätigt, die diesen Monat als eine Zeit des Rückschlages für die physische Entwicklung der Knaben und Mädchen betrachten«[1]).

Es erübrigt nur noch, die Untersuchung Lobsiens über die Entwicklung des Gedächtnisses während eines Schuljahres zu berücksichtigen[2]). Die Versuche wurden mit vier Knaben- und vier Mädchenklassen einer Kieler Volksschule einmal monatlich auf die Weise ausgeführt, daß den Kindern zwei Wortreihen, je zehn Glieder enthaltend, vorgesprochen wurden, und es war dann die Aufgabe der Kinder, sofort möglichst viel von dem gehörten niederzuschreiben. Die Anzahl der richtig wiedergegebenen Wörter läßt sich als Maß des jeweiligen Zustandes des Gedächtnisses

1) a. a. O. S. 107.
2) Schwankungen der psychischen Kapazität. Berlin 1902.

betrachten. Aus diesem Material gehen verschiedene, nicht uninteressante Resultate in betreff der Entwicklung des Gedächtnisses mit zunehmendem Alter bei den beiden Geschlechtern hervor; die Frage, ob die Entwicklung periodisch verläuft, wird aber gar nicht beleuchtet. Die Zahlen schwanken nämlich von Monat zu Monat fortwährend auf und ab, sodaß von einer Gesetzmäßigkeit gar keine Rede sein kann. Selbstverständlich wird hierdurch gar nicht bewiesen, daß die Entwicklung des Gedächtnisses nicht periodisch verläuft, sondern nur, daß einmal monatlich angestellte Messungen nicht ausreichen, um die Wirkungen störender Momente zu eliminieren.

Der Zweck der hier vorliegenden Arbeit war ursprünglich nur, zu untersuchen, ob die Resultate Schuytens in betreff der Muskelkraft eine allgemeinere Bedeutung beanspruchen könnten, oder ob sie nur als Folgen der eigentümlichen meteorologischen Verhältnisse des betreffenden Versuchsjahres angesehen werden dürften. Zu diesem Zwecke begann R. H. Pedersen im Januar 1904 eine Reihe Messungen der Muskelkraft, die an 21 Schülern einer Kopenhagener Volksschule einmal wöchentlich ausgeführt wurde. Am Ende des Schuljahres (am 1. Mai) wurden die Knaben in verschiedene Klassen verteilt, so daß es sich als unmöglich erwies, mit den nämlichen Knaben die Messungen fortzusetzen; Anfang Juni fingen darauf die Messungen mit drei neuen Knabenklassen an und wurden bis April 1905 durchgeführt. Die Resultate zeigten zwar eine unverkennbare Beziehung der Veränderungen der Muskelkraft zu dem Luftdrucke und der Temperatur, da die Messungen aber nur einmal wöchentlich stattfanden, ließ sich die Gleichzeitigkeit der meteorologischen und physiologischen Veränderungen gewöhnlich nicht dartun. Tägliche Messungen an den Kindern durchzuführen hielten wir aber, des großen Zeitaufwandes wegen, für undurchführbar; außerdem waren an Sonn- und Feiertagen keine Messungen zu erhalten, so daß das Versuchsmaterial immer lückenhaft werden mußte. Ununterbrochene Reihen von Messungen ließen sich unzweifelhaft nur von einzelnen Versuchspersonen zuwegebringen, die die Messungen täglich zu Hause ausführen konnten, und Lehmann entschloß sich daher, dies persönlich zu tun, wozu besonders der Umstand Anlaß gab, daß eine beabsichtigte Reise nach Norwegen eine bequeme Gelegenheit bot, den Einfluß größerer Luftdruckschwankungen auf die Muskelkraft zu untersuchen. Zwar

ließen sich aus einem solchen Versuchsmaterial die zahlreichen individuellen Zufälligkeiten nicht eliminieren; durch genaue Beobachtungen über das persönliche Befinden und sonstige beeinflußende Umstände konnten aber, aller Wahrscheinlichkeit nach, diese Mängel ausgeglichen werden. Als das Material gegen Ende 1905 bearbeitet wurde, zeigten sich so viele interessante Tatsachen, daß wir den Entschluß faßten, die Untersuchungen das ganze Jahr 1906 hindurch fortzusetzen und bedeutend zu erweitern.

Zuförderst führten wir, trotz aller Schwierigkeiten, an jedem Schultage eine Reihe Messungen der Muskelkraft mit einer Knabenklasse durch, und hieran schlossen sich dann ferner drei Reihen von individuellen Messungen. Als Versuchspersonen beteiligten sich an den letzteren außer den beiden Verfassern ein 18jähriges Mädchen, Frl. J., die in dem nämlichen Jahre das Abiturientenexamen absolvierte, wodurch wir also die Gelegenheit erhielten, den Einfluß einer dauernden und bedeutenden geistigen Leistung auf die Muskelkraft zu untersuchen. Außerdem wurden durch diese Wahl der Vp., die verschiedenen Altersklassen gleichmäßig repräsentiert; die Knaben waren 12—13, Frl. J. 18, P. 36 und L. 47 Jahre alt. Die drei genannten Vp. reisten übrigens dem gelegten Plane gemäß im Juli und August nach Norwegen, wo sie in der Höhe von 960 m den Einfluß einer konstanten, bedeutenden Luftdruckverminderung und die Adaptationserscheinungen beim Übergang von höherem zu niedrigerem Luftdruck und umgekehrt untersuchten. Schließlich wurden neben den Messungen der Muskelkraft von den Vp. P. und L. längere Reihen von täglichen Messungen der Additionsgeschwindigkeit und eine kürzere das Gedächtnis betreffend durchgeführt; die Dauer dieser Versuchsreihen war etwa 9 und 4 Monate. Es sollen im folgenden die Methoden und die Resultate aller dieser Versuche eingehend erörtert werden.

Die Messungen der Muskelkraft der Knaben fanden selbstverständlich in der Schule unter der Aufsicht Pedersens statt, und hierzu genügte ein einziges Dynamometer; die meteorologischen Data waren aus den monatlichen Berichten des meteorologischen Institutes zu Kopenhagen zu ersehen. Die verschiedenen Messungen der anderen Vp. erheischten dagegen ein recht bedeutendes Instrumentarium, weil sie nicht an demselben Orte wohnten, zu verschiedenen Zeiten reisten usw. Jede Vp. mußte daher, von den

andern völlig unabhängig, nicht nur ihre persönlichen Messungen, sondern auch an Ort und Stelle die erforderlichen meteorologischen Beobachtungen machen können. Die Anschaffung aller nötigen Apparate und Instrumente wurde uns nur durch die Unterstützung eines Gönners möglich, der ungenannt zu bleiben wünscht; wir erlauben uns hier aber, ihm unseren besten Dank für die Freigebigkeit abzustatten, ohne welche unsere Untersuchungen sich nicht hätten durchführen lassen.

Im folgenden soll zuerst kürzlich das meteorologische Material besprochen werden, wonach wir die Methodik der Korrelationsbestimmungen einer eingehenden, kritischen Bearbeitung unterziehen. Dies ist unvermeidlich, denn das Gelingen unseres Unternehmens: den Einfluß der meteorologischen Verhältnisse auf die körperliche und seelische Arbeit darzutun, ist durchaus von der angewandten Methode abhängig. Erst wenn die Methodik ins Reine gebracht worden ist, können die verschiedenen, im Vorhergehenden erwähnten Versuchsreihen erörtert werden.

2) Die meteorologischen Beobachtungen.

Die meteorologischen Erscheinungen, deren eventueller Einfluß auf die Arbeitsfähigkeit im folgenden untersucht werden soll, sind die Lichtstärke, d. h. die Intensität der chemischen Strahlung, die Temperatur und der Luftdruck. Für das Jahr 1904, wo nur mit den Schulknaben experimentiert wurde, haben wir die beiden letzterwähnten Größen den Berichten des meteorologischen Institutes entnommen; da sämtliche Kinder in Kopenhagen wohnten, wo es keine Höhenunterschiede gibt, konnte der auf das Meeresniveau reduzierte Barometerstand des Institutes ohne Bedenken angewandt werden. Die Intensität der chemischen Strahlung wird nicht am meteorologischen Institute beobachtet; für die erste Hälfte des Jahres 1904 sind aber tägliche Messungen dieser Größe vom botanischen Garten der Universität veröffentlicht[1]. Die Messungen sind mit dem unten zu beschreibenden Steenstrupschen Photometer angestellt. Als wir im Frühjahr 1905 von den Schulversuchen zu individuellen Messungen übergingen, war es notwendig, wenigstens Temperatur und Luftdruck an Ort und Stelle zu bestimmen,

---

1) Fysisk Tidsskrift. 1904. S. 71.

weil die betreffende Vp. sich teils in verschiedenen Gegenden von Dänemark, teils in Norwegen, oft weit von meteorologischen Stationen, aufhielt. Von einer Bestimmung der Lichtstärke konnte unter diesen Umständen keine Rede sein; die betreffenden Messungen wurden erst im Oktober 1905 angefangen und bis Ende 1906 fortgesetzt. Einige Bemerkungen über die uns zur Verfügung stehenden Apparate und die Ausführung der meteorologischen Beobachtungen werden hier am Platze sein.

Die Gesamtintensität der chemischen Strahlung eines Tages maßen wir mittels des von Dr. Steenstrup konstruierten Photometers. Dieser Apparat ist einfach eine Modifikation des bekannten Vogelschen Skalenphotometers, das in der praktischen Photographie viel benutzt wird[1]. Die 18 cm lange Skala enthält an ihrem dünneren Ende ungefähr 10, an ihrem dickeren Ende 50—70 Schichten transparenten Papiers; die Skala nebst dem darunter gelegten lichtempfindlichen Papier wird zwischen einer dünnen Metallplatte und einer Glasplatte festgeklemmt und das Ganze in einem starken Glasrohre, das mittels eines Gummistöpsels luftdicht verschlossen wird, dem Lichte exponiert. Diese Konstruktion ist sehr praktisch; das Photometer kann im Freien angebracht werden, indem die Skala vollständig vor Nässe geschützt ist, und die zahlreichen Stufen der Skala gestatten sowohl am hellsten wie am dunkelsten Tage eine genaue Messung der Lichtstärke. Eine Formel zur Berechnung derselben erhalten wir durch folgende Betrachtung. Es seien J die Lichtmenge, die während 24 Stunden eine Flächeneinheit trifft, n die Anzahl der Schichten, unter welcher das empfindliche Papier ebenmerklich gefärbt worden ist, und p der Absorptionskoeffizient des Papiers, aus dem die Skala hergestellt ist, dann hat man bekanntlich:

$$J_0 = J(1-p)^n,$$

wo J_0 die Lichtmenge ist, die während 24 Stunden pro Flächeneinheit durch n Schichten gedrungen ist. Diese Lichtmenge J_0 genügte aber, unserer Voraussetzung zufolge, gerade, um eine ebenmerkliche Färbung des lichtempfindlichen Papiers zustande zu bringen; nehmen wir diese Größe als Einheit, erhalten wir:

$$J = \frac{1}{(1-p)^n} \quad \text{oder} \quad \log J = -n \cdot \log(1-p).$$

[1] Eder, Die chemischen Wirkungen des Lichtes. Halle 1891. S. 405.

Ist p bekannt, so kann J aus der Gleichung berechnet werden. Auf jeder Skala des Steenstrupschen Photometers ist der Wert des p angegeben; die uns zur Verfügung gestellten Skalen hatten sämtlich $p = 0{,}145$. Wir haben aber nicht die Größen J aus den beobachteten Werten n berechnet; da $\log J$ dem n proportional ist, genügt es unseren Zwecken vollständig, die abgelesenen Werte n anzugeben.

Die Messung der Lichtstärke kann selbstverständlich nur relative Werte ergeben, wenn man das Photometer nicht auf freiem Felde aufstellen kann, wo es von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang bestrahlt wird. Dies war in unserem Falle unmöglich, und würde übrigens auch keinen Zweck haben, da uns nur daran gelegen sein konnte, die relativen Werte, die Schwankungen von Tag zu Tag, zu bestimmen. Bei den Messungen in Kopenhagen wurde das Photometer daher einfach außerhalb eines Fensters im vierten Stock eines ziemlich frei gelegenen Wohnhauses angebracht; das Fenster zeigte nach WSW., so daß das Photometer von 11 Uhr bis Sonnenuntergang bestrahlt werden konnte. An unserem Standorte Bessheim in Norwegen war das Photometer auf freiem Felde an einem Pfahle angebracht; hier wurde es ungefähr von Sonnenaufgang an beschienen, schon ziemlich früh, um 6 Uhr abends, barg sich aber die Sonne hinter eine hohe Felswand. An beiden Orten hat das Photometer also nur einen Bruchteil der direkten Strahlung erhalten, merkwürdigerweise zeigte es sich aber, daß gleichzeitige Messungen an wolkenlosen Tagen sowohl in Kopenhagen als in Bessheim fast dieselben Zahlen ergeben haben. Hieraus folgt, daß wir zwar nicht das Verhältnis zwischen den totalen Lichtmengen J_K in Kopenhagen und J_B in Bessheim angeben können, daß aber die täglichen Variationen an beiden Orten proportional werden. Es seien nämlich x und y die unbekannten Bruchteile der direkten Sonnenstrahlung, die wegen lokaler Verhältnisse in Kopenhagen bzw. in Bessheim per 24 Stunden das Photometer trafen, so haben wir also an wolkenlosen Tagen: $x \cdot J_K = y \cdot J_B$, indem das lichtempfindliche Papier unter diesen Umständen identische Werte ergab. Nehmen wir ferner an, daß die totalen Lichtmengen an einem anderen Tage i_K bzw. i_B sind, während wiederum identische Photometerwerte erhalten werden, so ist also: $x \cdot i_K = y \cdot i_B$. Folglich hat man: $J_K / i_K = J_B / i_B$, oder: den an den beiden Orten erhaltenen, gleich großen Photo-

meterwerten entsprechen proportionale Änderungen der Lichtintensitäten.

Als lichtempfindliches Papier benutzten wir Eastmans Solio, glänzend weiß, das in passende Streifen geschnitten in gut verschlossenen, mit schwarzem Papier verklebten Reagenzgläsern aufbewahrt wurde. Das Auswechseln des exponierten Papiers fand immer nachts um 11—12 Uhr statt; hierdurch erreichten wir, daß es überhaupt keine merkbare Wirkung hatte, ob das Papier eine Stunde mehr oder weniger exponiert wurde, und die Messungen wurden somit möglichst genau.

Da die Zusammensetzung des Tageslichtes, wie bekannt, in hohem Grade variabel, vom Zustande der Atmosphäre abhängig ist, sind die Intensitäten anderer Strahlenarten durchaus nicht den gemessenen Werten des aktinischen Lichtes proportional. Wir beschränkten uns aber auf die Bestimmung dieser letzteren Größe, erstens weil es noch keine Methode gibt, die eine ähnliche Messung der chemisch unwirksamen Strahlen erlaubt, und zweitens, weil eben das aktinische Licht bei unseren Untersuchungen hauptsächlich zu berücksichtigen ist. Zahlreiche Untersuchungen aus der neueren Zeit, von Maklakow, Widmark, Finsen und Quincke, haben übereinstimmend das Resultat ergeben, daß es fast ausschließlich die chemischen Strahlen sind, die die tierischen Organismen und Gewebe beeinflussen. Es kann somit kaum einem Zweifel unterliegen, daß hauptsächlich die Intensität des aktinischen Lichtes berücksichtigt werden muß, wenn man die Beziehung der Arbeitsfähigkeit eines Menschen zur Lichtstärke untersucht.

Als Normalbarometer diente bei unseren Messungen ein Fortinsches Reisebarometer, dessen Quecksilbersäule 10 mm weit war; Korrektionen wegen der Kapillarität konnten deshalb unterlassen werden. Außerdem standen zur Verfügung ein zu Höhenmessungen eingerichtetes Aneroidbarometer und zwei einfachere Aneroidbarometer. Die Aneroidbarometer wurden häufig mit dem Normalbarometer verglichen und nach dem auf 0° reduzierten Barometerstand korrigiert. Der Höhenmesser war ein vorzügliches Instrument, dessen Angaben mit denen des Normalbarometers fast immer genau übereinstimmten; nur nach Bergbesteigungen, wo in kurzer Zeit Druckverminderungen von etwa 100 mm Quecksilber vorkamen,

zeigte derselbe, ins Tal zurückgebracht, eine Abweichung von — 2 mm, die sich jedoch in einigen Tagen wieder ausglich. Dies Barometer wurde daher stets auf Reisen benutzt; nur im Sommer 1906 wurde außerdem das Normalbarometer nach Norwegen mitgenommen, um eine genaue Bestimmung der Höhe des Standortes Bessheim über dem Meeresniveau zu ermöglichen.

Die beiden anderen Aneroidbarometer konnten, trotz aller Korrektionen, Abweichungen vom Normalbarometer bis zu ± 1,5 mm zeigen. Sie wurden aber nur während kürzerer Zeiträume, wenn mehrere Vp. sich gleichzeitig auf Reisen befanden, und nur im Tieflande angewandt; die hierdurch entstandenen Fehler dürfen, in anbetracht des sehr umfangreichen Versuchsmaterials, gewiß vernachlässigt werden.

Das Ablesen des Barometers geschah stets morgens, gleichzeitig mit den Messungen der Arbeit. Anfangs, als die Untersuchungen noch das Interesse der Neuheit hatten, und wir auf die Resultate gespannt waren, wurde großes Gewicht darauf gelegt, daß das Barometer erst nach den Arbeitsmessungen abgelesen wurde, um eine suggestive Beeinflussung der letzteren auszuschließen. Später aber, als wir die täglichen Beobachtungen und Messungen ganz mechanisch ausführten und protokollierten, wurde diese Vorsichtsmaßregel häufig vernachlässigt, ohne daß dadurch die Beziehung zwischen der Arbeitsgröße und dem Luftdrucke im geringsten deutlicher hervortrat. Wie wenig übrigens theoretische Erwartungen auf solche, Jahre hindurch fortgesetzten Untersuchungen einen suggestiven Einfluß auszuüben vermögen, wird sich aus dem Folgenden ergeben; unsere interessantesten Resultate waren nicht nur unerwartet, sondern liefen sogar den im voraus aufgestellten Vermutungen gerade zuwider. — Bedenklich kann vielleicht der Umstand erscheinen, daß das Barometer nur einmal täglich abgelesen wurde. Größere Luftdruckschwankungen, die einen wesentlichen Einfluß ausüben, können ja sehr wohl im Laufe des Tages stattfinden; um den mittleren Luftdruck des Tages zu bestimmen, müßte man also das Barometer häufiger ablesen. Diesem Einwande läßt sich entgegenhalten, erstens, daß solche starken und kurz dauernden Luftdruckveränderungen jedenfalls in unseren Gegenden ziemlich selten sind, und zweitens, daß eine Luftdruckveränderung, wie die Messungen zeigen, eine gewisse Dauer haben muss, um überhaupt einen merklichen Einfluß aus-

zuüben. Ein häufigeres Ablesen des Barometers würde daher, unseres Ermessens, keinen Zweck haben.

Die weitaus größten Schwierigkeiten bereitete uns die Messung der Temperatur, nicht weil es an und für sich besonders schwierig ist, die Temperatur zu bestimmen, sondern weil es im voraus garnicht einleuchtet, welche Temperatur zu berücksichtigen ist. Die Schüler der Volksschule halten sich unzweifelhaft außerhalb der Schule sehr viel im Freien auf, sodaß sie wirklich von der Lufttemperatur beeinflußt werden; in diesem Falle kann man also den Korrelationsbestimmungen die mittlere Lufttemperatur oder das Maximum des Tages zugrunde legen. Dies gilt aber nicht von den übrigen Vp., deren Arbeit sie an die Stube fesselt. Die Temperatur unserer Zimmer schwankt zwar des Sommers mit der der äußeren Luft, vom Oktober bis April, wo geheizt wird, ist sie aber fast konstant, 17—20° C. Selbst wenn wir einen täglichen, zweistündigen Aufenthalt der Stubenarbeiter im Freien annehmen — was jedenfalls hoch veranschlagt ist — wird es kaum verständlich, wie hieraus ein merklicher Einfluß resultieren kann. Nichtsdestoweniger zeigen die Messungen, daß eine Beziehung zwischen der äußeren Temperatur und der Arbeitsfähigkeit besteht. Diese Sonderbarkeit haben wir uns nur durch die Annahme erklären können, daß die Einwirkung des Nachts stattfindet. Unsere Schlafzimmer werden nämlich nie geheizt, und die Fenster sind den ganzen Tag und oft auch die Nacht hindurch offen. Unter diesen Umständen ist man also im Schlafzimmer einer Temperatur ausgesetzt, die zwar nicht der äußeren gleich, jedoch von derselben abhängig ist.

Von der erwähnten Annahme ausgehend haben wir, seit dem Juni 1906, die nächtliche Minimumstemperatur unserer Schlafzimmer bestimmt, wozu das leicht transportable Maximum- und Minimumthermometer von Six angewandt wurde. Das Minimum hat vor jeder anderen Größe den Vorzug, daß es zu einem beliebigen Zeitpunkte abgelesen werden kann; übrigens erwies es sich, daß die Temperatur abends und morgens nur sehr wenig, 1—2° von dem Minimum abweicht. Die Bedeutung dieser Größe kann somit nicht zweifelhaft sein, denn wenn man 6—8 Stunden, während der vollständigen Ruhe des Schlafes, Luft von dieser Temperatur einatmet, wird sie weit stärker als während der Tätigkeit des Tages, wo

zahlreiche andere Faktoren mitspielen, einwirken können. Wir fanden denn auch, daß die Körpertemperatur, morgens im Rektum gemessen, nicht unerheblich, von 36,4—36,7°, mit der Temperatur des Schlafzimmers schwankt. Es kann daher auch nicht wundernehmen, daß die morgens gemessene Arbeitsfähigkeit, wie wir später sehen werden, eine unverkennbare Beziehung zur Minimumtemperatur des Schlafzimmers zeigt.

Schließlich sei noch erwähnt, daß wir 1906 im Frühjahr in Kopenhagen und im Sommer in Bessheim tägliche Messungen der Elektrizitätszerstreuung in der Luft angestellt haben. Zu diesen Untersuchungen wurden wir durch die Beobachtungen von Zuntz angeregt[1]), die auf dem Monte Rosa eine Beeinflussung der Atmung durch den elektrischen Zustand der Luft außer Zweifel gestellt hatten. Unsere Messungen stellten wir mit dem verbesserten Elektroskope von Elster und Geitel, unter vielfach variierten Umständen an; es ist uns aber bisher nicht gelungen, zwischen der Arbeitsfähigkeit und der Elektrizitätszerstreuung irgendwelche Beziehung weder der direkt gemessenen Werte noch des Verhältnisses derselben nachzuweisen. Das Beobachtungsmaterial kann vielleicht in andern Richtungen von Interesse sein, für unsere Zwecke hat es sich als wertlos erwiesen.

3) Die Methodik der Beziehungsbestimmungen.

Sehr häufig liegt in der Psychologie die Aufgabe vor zu untersuchen, ob zwei in irgend einer Weise meßbare Erscheinungen, Eigenschaften oder Fähigkeiten, in Wechselbeziehung, Korrelation, stehen. Die Messungen können entweder an einer Reihe verschiedener Individuen, oder an demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten ausgeführt worden sein; in beiden Fällen zeigt es sich gewöhnlich, daß die zusammengehörenden Werte der beiden Erscheinungen bei den verschiedenen Individuen, oder von Tag zu Tag mehr oder weniger übereinstimmende Schwankungen aufweisen. In dem einfachsten Falle, wo die Schwankungen vollständig übereinstimmen, kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die beiden Erscheinungen sich entweder gegenseitig bedingen, oder

---

1) Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906. S. 462—466.

von einer gemeinsamen Ursache abhängig sind. Eine solche vollständige Korrespondenz wird aber nur selten vorliegen; am häufigsten sind die Variationen von Fall zu Fall recht unregelmäßig, und es erhebt sich dann die Frage, ob dennoch eine gewisse Beziehung der Erscheinungen gefolgert werden darf. Diese Aufgabe ist rein mathematischer Natur, indem der Schluß auf eine Beziehung davon abhängig sein muß, ob die vorliegenden Übereinstimmungen zahlreicher und größer sind als die Wahrscheinlichkeit ihres Vorkommens aus bloßem Zufall.

Zur Lösung dieser Aufgabe haben Bravais, Galton und Pearson[1]) die folgende Methode ausgearbeitet. Es seien $x_1, x_2, x_3 \ldots x_n$ die gemessenen Werte der einen, $y_1, y_2, y_3 \ldots y_n$ die entsprechenden Werte der anderen Erscheinung, während m und M die berechneten mittleren Werte der Reihen x bzw. y bedeuten. Man berechnet ferner die Abweichungen der Einzelmessungen von den Mittelwerten der Reihen, also $f_1 = x_1 - m$, $f_2 = x_2 - m, \ldots$ und $F_1 = y_1 - M$, $F_2 = y_2 - M, \ldots$, und hat dann für den Korrelationskoeffizienten r den folgenden Ausdruck:

$$r = \frac{[f \cdot F]}{\sqrt{[f^2] \cdot [F^2]}}, \qquad \text{(Gleich. 1.)}$$

wo $[f \cdot F] = f_1 \cdot F_1 + f_2 \cdot F_2 + \ldots + f_n \cdot F_n$ und $[f^2]$ bzw. $[F^2]$ die Summen der Fehlerquadrate darstellen. Der wahrscheinliche Fehler, f_w, des Korrelationskoeffizienten ist mit hinlänglicher Genauigkeit gegeben durch den Ausdruck:

$$f_w = 0{,}6745 \cdot \frac{1 - r^2}{\sqrt{n\,(1 + r^2)}}, \qquad \text{(Gleich. 2.)}$$

wo n die Anzahl der Einzelmessungen jeder Reihe bedeutet.

In betreff der mathematischen Genauigkeit lassen, wie von Pearson dargetan, diese Formeln nichts zu wünschen übrig; in der Praxis leiden sie aber an gewissen Übelständen. Erstens ist aus der Gleich. 1 ersichtlich, daß die Rechnungen äußerst weitläufig werden können, wenn ein größeres Versuchsmaterial vorliegt. Zweitens geht aus einer solchen bedeutenden Arbeit nur ein einzelner Koeffizient hervor, der zwar den Korrelationsgrad der

---

1) Philos. Transactions of Royal Society. London 1896. Bd. 187 A. S. 264 ff.

beiden Erscheinungen genau ausdrückt, dagegen gar nichts hinsichtlich der mathematischen Form der Funktion aussagt. Am schlimmsten ist es jedoch, daß die Gleich. 1 nur dann ein richtiges Resultat ergibt, wenn die gemessenen Erscheinungen einander direkt oder umgekehrt proportional sind; sie kann in andern Fällen dagegen vollständig versagen, obwohl eine sehr einfache Gesetzmäßigkeit ersichtlich ist. Dies tritt in einem von Spearman angeführten Beispiel, auf welches wir etwas näher eingehen wollen, sehr deutlich hervor.

»Suppose that it was desired to correlate acuteness of sight with that of hearing, and that for this purpose five persons were tested as to the greatest distance at which they could read and hear a standard alphabet and sound respectively. Suppose the results to be:

	Person				
	A.	B.	C.	D.	E.
Sight:	6	7	9	11	14 ft.
Hearing:	6	11	12	10	8 ft.

then we get $r = 0$, and there, thus, is no correspondence, direct or inverse[1].«

Merkwürdigerweise scheint es Spearman gar nicht eingefallen zu sein, daß dieses Beispiel, dessen Einzelrechnungen er zur Erläuterung der Methode anführt, gleichzeitig auch die Unzulänglichkeit derselben dartut. Wir brauchen nur die Messungsresultate graphisch darzustellen, um dies sofort zu ersehen. Trägt man die Versuchspersonen als äquidistante Punkte auf die Abszissenachse auf, und werden die gemessenen Werte als Ordinaten abgesetzt, so erhält man die beiden Kurven der Figur 2a, die eine ganz einfache Beziehung der betreffenden Erscheinungen aufweisen. Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn man, ohne die Vp. zu berücksichtigen, z. B. die Hörschärfe als Funktion der Sehschärfe darstellt. Setzt man also die gemessenen Werte der Sehschärfe als Abszissen und in jedem dieser Punkte den entsprechenden Wert der Hörschärfe als Ordinate ab, so resultiert die Figur 2b. Man ersieht hieraus, daß eine einfache, mathematisch formulierbare Beziehung zwischen Hörschärfe und Sehschärfe besteht, die

1) Measurement of association. Amer. Journ. of Psychol. Vol. 15. S. 77.

sich in Worten ungefähr folgendermaßen ausdrücken läßt: bei sehr kleiner Sehschärfe ist auch die Hörschärfe schlecht, sie erreicht ihr Maximum bei mittleren Werten der Sehschärfe, um dann mit wachsender Sehschärfe wieder abzunehmen.

Das Beispiel ist unzweifelhaft nur erdichtet, dadurch verändert sich aber die Tatsache nicht, daß eine einfache Gesetzmäßigkeit zwischen gegebenen Erscheinungen bestehen kann, während die Bravaissche Formel die Nichtexistenz einer Korrelation angibt. Hieraus kann gewiß der Schluß gezogen werden, daß es in allen Fällen am besten ist, einer möglichen Beziehung auf die Weise nachzuspüren, daß die eine Erscheinung als Funktion der anderen dargestellt wird, so wie es beispielsweise in Figur 2 b gezeigt wird. Durch eine passende Ausgleichung der Kurve erreicht man dann fast immer, das Gesetz anschaulich hervortreten zu lassen. Gelingt es in einem gegebenen Falle auf diese Weise eine bestimmte Beziehung der Erscheinungen nachzuweisen, so ist die Aufgabe gelöst, und die Berechnung eines Korrelationskoeffizienten hat dann keinen großen Wert. Nur wenn die Schwankungen der gemessenen Werte sehr groß sind, kann die gesuchte Beziehung zweifelhaft werden, und dann kann man zur Bravaisschen

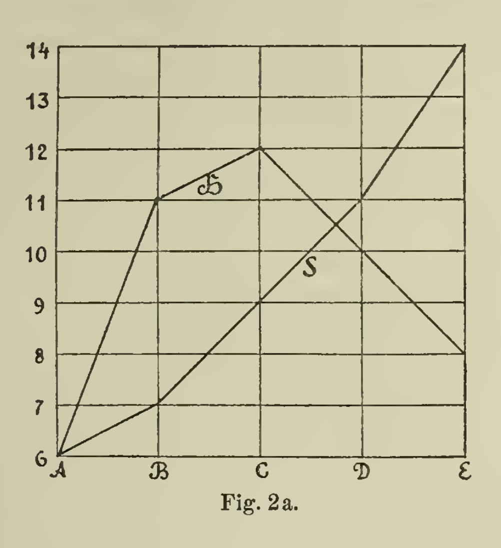


Fig. 2a.

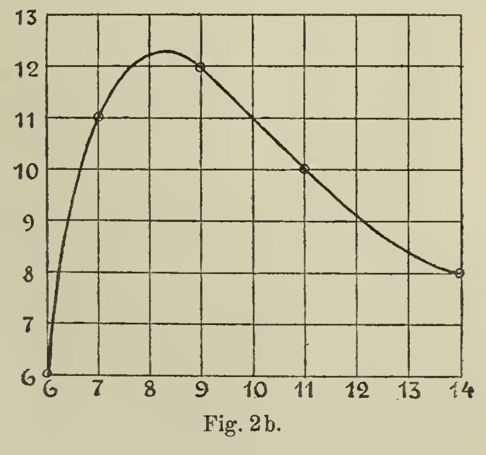


Fig. 2b.

Formel greifen, um aus dem berechneten Korrelationskoeffizienten zu ersehen, ob eine Beziehung überhaupt angenommen werden darf.

Die von Spearman angegebene »Footrule«, eine vereinfachte Reihenmethode, hat unzweifelhaft nur geringen Wert[1]. Auf diese Methode gehen wir hier nicht näher ein, weil sie für unsere Untersuchungen ohne Bedeutung ist. Sie ist als eine Vereinfachung der Gleich. 1 anzusehen, und hat folglich mit dieser Formel den Hauptfehler gemeinsam, daß sie nur eine Proportionalität, nicht aber andere gesetzmäßige Beziehungen der Erscheinungen ausdrücken kann. Schlimmer ist es aber, daß die Methode, auch wenn eine Proportionalität vorliegt, zu ganz falschen Resultaten führen kann. Spearman gibt zwar eine Formel an, mittels welcher man leicht aus dem nach der »Footrule« gefundenen Koeffizienten den wahren, durch Gleich. 1 bestimmten Koeffizienten berechnen kann. Die Formel gilt indes nur für die direkte Proportionalität; liegt eine vollständige umgekehrte Proportionalität vor, so erhält man durch die »Footrule«, statt des theoretischen Wertes -1, nur $-0{,}5$, wenn eine ungerade Anzahl Messungen zur Verfügung stehen, dagegen $1 - 1{,}5 \cdot n^2/(n^2 - 1)$, wenn die Korrelation aus einer geraden Anzahl Messungen abgeleitet ist. Solche Abweichungen empfehlen nicht eben die Methode.

Bei unseren, im folgenden zu besprechenden Untersuchungen zielten wir stets darauf ab, die Beziehungen der verschiedenen Erscheinungen so zu bestimmen, daß die Funktionen sich graphisch darstellen ließen. Dies war in unserem Falle das einzig Natürliche und Zweckmäßige. Niemand bezweifelt wohl eigentlich, daß seine körperlichen und seelischen Fähigkeiten unter anderm vom Wetter beeinflußt werden, d. h. daß seine tägliche Disposition in irgend einer Richtung eine Funktion der verschiedenen meteorologischen Faktoren ist. Es wird folglich eine Aufgabe der Wissenschaft, diese funktionelle Beziehung näher zu bestimmen, und das Ergebnis läßt sich — da Gleichungen und Formeln hier ohne Interesse sind — am besten durch eine Zeichnung, eine graphische Darstellung, ausdrücken. Wie schon oben berührt, gibt es aber zwei verschiedene Methoden, beispielsweise in Figur 2a und 2b ange-

---

1) »Footrule« for measuring correlation. Brit. Journ. of Psychol. Vol. 2. S. 89 ff.

geben, mittels deren sich die Beziehungen veranschaulichen lassen. Bezeichnen wir, der Einfachheit halber, mit x die Werte der äußeren, physischen Erscheinung, von welcher unserer Annahme nach die Werte y der physiologischen oder psychophysiologischen Erscheinung abhängig sind. Wir können dann entweder x und y als Funktionen eines gemeinsamen Argumentes, der Zeit, darstellen, und erhalten in diesem Falle eine der Figur 2a analoge Figur, wo A, B, C . . . gleichgroße Zeitintervalle bedeuten. Oder aber wir können y als Funktion von x darstellen, wie es schematisch in Figur 2b ausgeführt ist. Jede dieser Methoden hat gewisse Vorzüge, so daß sie unter bestimmten Umständen der anderen vorzuziehen ist.

Den Überblick über die tatsächlichen Schwankungen der Erscheinungen von Tag zu Tag, oder während größerer Perioden, erhält man selbstverständlich nur dann, wenn die Erscheinungen als Funktionen der Zeit dargestellt werden. Die Methode hat aber den Nachteil, daß die Beziehung zwischen y und x äußerst selten aus solchen Kurven ersichtlich wird. Die Erscheinung y ist ja nämlich nicht ausschließlich von dem eben in Betracht gezogenen x, sondern auch von vielen andern Faktoren abhängig, und ihre Variationen von Tag zu Tag können folglich nicht immer denjenigen des x entsprechen; Übereinstimmungen und Nichtübereinstimmungen folgen einander in buntem Wechsel. Nur wenn x, außer den täglichen Schwankungen, eine regelmäßige periodische Veränderung größerer Wellenlänge darbietet, wird man den eventuellen Einfluß derselben auf y nachweisen können, indem man die Einzelmessungen genügend vieler Tage zu Mittelwerten vereinigt. In diesen Mittelwerten sind die Einflüsse aller Faktoren, die nicht demselben periodischen Wechsel unterliegen, möglichst eliminiert, und die somit erhaltenen Kurven lassen die Übereinstimmung der periodischen Variation des y mit derjenigen des x hervortreten, insofern eine solche überhaupt existiert. Auf diese Weise können wir z. B. die Beziehung der Arbeitsfähigkeit zur jährlichen periodischen Variation der Lichtstärke und der Wärme nachweisen.

Auf dieselbe Weise, durch eine zweckmäßige Ausgleichung, gelingt es gewöhnlich auch, die Übereinstimmung der Schwankungen kürzerer Wellenlänge darzutun. Es ist aber leicht ersichtlich, daß die Methode schließlich unanwendbar wird, indem die zu unter-

suchenden Schwankungen bei der Ausgleichung, die zur Elimination der zufälligen Fehler notwendig ist, selbst verschwinden. Und werden die Messungen nicht genügend stark ausgeglichen, so läßt sich eine Übereinstimmung der Schwankungen wegen der zufälligen Fehler nicht mit Sicherheit ersehen. Figur 10b ist ein Beispiel dieser Art. Die beiden Kurven B und M bieten zwar zahlreiche Übereinstimmungen dar, da aber auch Nichtübereinstimmungen häufig vorkommen, kann man nicht mit Gewißheit behaupten, daß eine Beziehung zwischen den beiden Erscheinungen existiere. In einem solchen Falle läßt sich der Einfluß des x auf die Erscheinung y allein dadurch darlegen, daß man untersucht, ob y überhaupt eine Funktion von x ist. Die hierzu übliche Methode ist die der Fraktionierung. Man teilt die beobachteten Werte x in eine beliebige Anzahl Gruppen, deren Größe, Gruppenlänge, so gewählt wird, daß womöglich zu jeder Gruppe dieselbe Anzahl der entsprechenden Werte y gehört. Aus den mittleren Werten der in eine Gruppe vereinten Größen y ersieht man dann leicht, ob y sich mit wachsenden Werten des x gesetzmäßig verändert. Die Methode leidet indes an den beiden Übelständen, daß weder die Argumente äquidistant werden, noch die berechneten Mittelwerte dasselbe Gewicht haben. Die Gruppenlänge muß nämlich stets so gewählt werden, daß möglichst genau gleich viele Messungen in jeder Gruppe liegen, und folglich kann sie nicht überall dieselbe Größe haben. Zumeist gelingt es aber nicht einmal annähernd, durch eine zweckmäßige Wahl der Gruppenlänge, dieselbe Anzahl Einzelmessungen in jede Gruppe zu bringen; die Mittelwerte werden also nicht aus derselben Anzahl Einzelmessungen berechnet und haben somit nicht dasselbe Gewicht. Es ist daher auch nichts mit den gefundenen Funktionswerten anzufangen; sie können wohl kaum ausgeglichen werden, und die Funktion läßt sich nur teilweise graphisch darstellen. Erläutern wir die Sache durch ein Beispiel.

An 92 aufeinander folgenden Tagen wurde täglich die Muskelkraft einer Vp. mittels eines Dynamometers bestimmt, und gleichzeitig der Barometerstand abgelesen. Gibt es eine bestimmte Beziehung zwischen den beiden Reihen gemessener Größen? Um dies zu untersuchen, teilen wir die abgelesenen Barometerstände in z. B. fünf Gruppen; die Länge jeder Gruppe muß also so gewählt werden, daß 18 oder 19 Messungen in jeder Gruppe liegen. Dies

läßt sich aber im vorliegenden Falle, wie aus der untenstehenden Tabelle I ersichtlich, durchaus nicht erzielen. Die Reihe x gibt den Luftdruck in Millimeter an, n ist die Anzahl der Einzelmessungen, die in jeder Gruppe liegen, y schließlich ist der, in Kilogramm ausgedrückte mittlere Wert der Dynamometermessungen jeder Gruppe. Drei Gruppen enthalten, wie man sieht, ungefähr die geforderte Anzahl Einzelwerte, die beiden anderen dagegen nicht. Durch eine Veränderung der Gruppenlänge läßt sich dies Verhältnis nicht verbessern. Bei 762 mm Luftdruck liegen nämlich 12 Messungen, werden diese zu der folgenden Gruppe gerechnet, so liegen also in der Gruppe 760—761 nur 12, in der Gruppe 762—765 dagegen 25 Messungen. Die in der Tabelle angegebene Verteilung ist somit die möglichst gleichmäßige. Aus den Werten y ersieht man zwar, daß die Muskelkraft bei höherem Luftdruck größer als bei niedrigem ist; graphisch läßt sich die Beziehung aber nicht darstellen. Die drei Werte in der Mitte der Tabelle können wohl als Ordinaten in der Mitte der betreffenden Gruppen abgesetzt werden, die beiden äußeren dagegen nicht, weil die Gruppenlängen hier zu groß, und die Werte innerhalb der Gruppen keineswegs gleichmäßig verteilt sind. Man muß sich also mit dem begnügen, was einfach aus den Zahlen ersichtlich ist.

Tabelle I.

x	742—754	755—759	760—762	763—765	766—773
n	19	18	24	13	17
y	33.47	33,77	34,03	33,94	33,71

Wie in diesem Beispiel geht es in den meisten Fällen; es ist praktisch unmöglich, gleich viele Messungen in jede Gruppe zu bringen. Die Gruppen werden aber eben deshalb von verschiedener Länge genommen, um gleich viele Messungen zu erhalten; man kann also ebenso gut diesen unerreichbaren Zweck aufgeben, und die Gruppenlänge konstant nehmen, wodurch zwei nicht unwesentliche Vorteile erreicht werden. Erstens können die Funktionswerte y, die Mittelwerte der Einzelmessungen jeder Gruppe, auf die Mitten der Gruppen als Argumente bezogen werden, und somit läßt sich die Funktion graphisch darstellen. Zweitens können die Funktionswerte durch Mitteinterpolation ausgeglichen werden.

Zwar haben die Funktionswerte in diesem Falle sehr verschiedenes Gewicht, je nach der Anzahl n der Einzelmessungen, aus welchen sie berechnet worden sind; wird die Mitteinterpolation aber nur mittels der Differenzen erster Ordnung ausgeführt, so läßt sich das verschiedene Gewicht leicht berücksichtigen.

Entsprechen den Argumenten	x_1	x_2	x_3
die Funktionswerte	y_1	y_2	y_3
mit den Gewichten	n_1	n_2	n_3,

so sind die Mittelwerte y_μ und y'_μ der Größen y_1 und y_2 bzw. y_2 und y_3:

$$y_\mu = \frac{n_1 y_1 + n_2 y_2}{n_1 + n_2} = \frac{[y_1] + [y_2]}{n_1 + n_2} \text{ und } y'_\mu = \frac{n_2 y_2 + n_3 y_3}{n_2 + n_3} = \frac{[y_2] + [y_3]}{n_2 + n_3}.$$

Der mittlere Wert (y_2) der Größen y_μ und y'_μ wird dann:

$$\left.\begin{aligned}(y_2) = \frac{(n_1 + n_2) y_\mu + (n_2 + n_3) y'_\mu}{n_1 + 2 n_2 + n_3} &= \frac{n_1 y_1 + 2 n_2 y_2 + n_3 y_3}{n_1 + 2 n_2 + n_3} \\ &= \frac{[y_1] + 2 [y_2] + [y_3]}{n_1 + 2 n_2 + n_3}.\end{aligned}\right\} \text{(Gleich. 3.)}$$

Die Gleich. 3 entspricht vollständig der gewöhnlichen Ausgleichungsformel für Funktionswerte gleichen Gewichtes[1]); setzt man nämlich $n_1 = n_2 = n_3$, so erhält man:

$$(y_2) = \frac{1}{4} (y_1 + 2 y_2 + y_3) \qquad \text{(Gleich. 4.)}$$

Da die nach Gleich. 3 ausgeglichenen Funktionswerte das Mittel von $(n) = n_1 + 2 n_2 + n_3$ Größen sind, wird dadurch dem Übelstande abgeholfen, daß einige Gruppen sehr wenige Messungen enthalten können. Selbstverständlich sind aber die Funktionswerte um so genauer bestimmt, je größer der Wert (n) ausfällt; eine konstante Genauigkeit läßt sich ja aber auch nicht mittels der üblichen Fraktionierungsmethode erzielen.

Um das Verhältnis der beiden Methoden näher zu beleuchten, führen wir hier die Resultate an, die wir erhalten, wenn das obige

---

1) Lehmann, Lehrbuch der psychologischen Methodik. 1906. S. 50, Gleich. 25.

Beispiel nach der letzterwähnten Methode behandelt wird. Die Messungen sind in Gruppen konstanter Länge, 5 mm, geteilt, und umfassen die Werte 742—747, 748—752 usw., so daß die Mitten dieser Gruppen, 745, 750 usw., als Argumente der Funktionswerte genommen werden können. In der Tabelle II sind unter x die Argumente, unter y die entsprechenden Funktionswerte, und unter n die Anzahl der in jeder Gruppe liegenden Messungen angegeben.

Tabelle II.

x	y	n	(y)	(n)
745	31,60	1		
750	33,18	10	33,30	41
755	33,51	20	33,70	81
760	34,10	31	33,96	101
765	33,99	19	33,97	79
770	33,46	10	33,70	40
775	33,80	1		

Ferner kommen in der Tabelle vor die nach Gleich. 3 ausgeglichenen Funktionswerte (y), und die Anzahl (n) der Größen, aus welchen sie berechnet wurden. Die Resultate der Tabelle II sind in Figur 11, Kurve L. 1905 a, graphisch dargestellt; die eingezeichneten Werte y sind durch punktierte Linien verbunden, durch die Werte (y) ist die vollgezeichnete Kurve gelegt. Die Lage der drei Werte, die nach der üblichen Fraktionierungsmethode gefunden sind und sich überhaupt einzeichnen lassen, sind durch Zirkel angegeben. Die beiden Methoden führen, wie ersichtlich, zu genau übereinstimmenden Resultaten; unsere hier dargelegte Methode hat aber vor der üblichen den Vorzug, daß sie ein vollständigeres Bild der Funktion ergibt. Wir haben sie daher bei allen im folgenden darzustellenden Untersuchungen angewandt.

Weil sich eine Beziehung zwischen zwei Erscheinungen nachweisen läßt, darf natürlich nicht sofort auf eine ursächliche Verknüpfung derselben geschlossen werden. Die eine kann die Ursache der anderen sein, oder sie können eine gemeinsame Ursache haben; es ist aber auch sehr wohl möglich, daß sie durchaus unabhängig voneinander sind, sodaß die nachgewiesene Übereinstimmung eigentlich als eine Zufälligkeit anzusehen ist. Aus den obigen

beispielsweise besprochenen Messungen, die vom 18. April bis 19. Juli unternommen wurden, ging unzweifelhaft hervor, daß die Muskelkraft größer bei hohem als bei niedrigem Luftdrucke war. Dies kann einfach davon herrühren, daß der hohe Luftdruck irgendwie dem Organismus förderlich ist — die Möglichkeit ist aber gar nicht ausgeschlossen, daß eine scheinbare Beziehung durch zwei voneinander völlig unabhängige Ursachen entstanden sein könnte. Steigt die Muskelkraft z. B. während der Versuchsperiode wegen wachsender Übung langsam an, und wird aus unbekannten, also sogenannten zufälligen Ursachen der durchschnittliche Luftdruck im Juni und Juli größer als in den vorhergehenden Monaten, so muß uns dies zufällige Zusammentreffen von hohem Luftdruck und großer Muskelkraft eine Beziehung vorspiegeln, die tatsächlich nicht existiert. Umgekehrt kann aber auch eine faktische Beziehung verdeckt werden, wenn die beiden Erscheinungen sich, fremder Ursachen wegen, in entgegengesetzten Richtungen periodisch verändern. Es handelt sich also darum, eine Methode zu finden, mittels deren solche Täuschungen gehoben werden können.

Um der gesuchten Methode auf die Spur zu kommen, betrachten wir das in Figur 3 dargestellte, übersichtliche Beispiel. Die Schwankungen der beiden Erscheinungen A und B sind nur teilweise übereinstimmend; man muß daher die oben auseinandergesetzte Fraktionierungsmethode in Anwendung bringen, um zu prüfen, ob eine Beziehung überhaupt vorkommt. Tut man dies, so findet man unzweifelhaft, daß B mit wachsenden Werten des A steigt. Dies kann nicht anders sein, weil die beiden Erscheinungen gleichzeitig wachsen. Gleicht man die Kurven A und B vollständig aus, so resultieren die Linien CD und EF, aus deren gegenseitiger Lage ersichtlich ist, daß die relativ kleinsten Werte des B den relativ kleinsten Werten des A entsprechen, während die relativ größten Werte des B gleichzeitig mit den relativ größten Werten des A gefunden werden. Wenn man also, durch die Fraktionierung, B als Funktion von A berechnet, findet man unvermeidlich, daß B mit A wächst. Da das Wachstum der beiden Erscheinungen aber von Ursachen herrühren kann, die ganz unabhängig voneinander sind, darf man aus der tatsächlichen Beziehung der Erscheinungen nicht auf eine Kausalbeziehung schließen. Wenn aber ebenfalls die kleineren, unregelmäßigen Schwankungen der beiden

Erscheinungen durchweg einander entsprechen, so muß irgend eine Kausalbeziehung zwischen A und B stattfinden.

Hiermit ist, den Hauptzügen nach, die Methode gegeben. Auf der Strecke ab (Figur 3) erhebt sich die Kurve A über die Linie CD. Die Abweichungen der Kurve B von der Linie EF innerhalb der Strecke cd kann man aus den Einzelmessungen leicht berechnen. Werden nun für jede Erhebung der Kurve A über CD die entsprechenden Abweichungen der Kurve B von EF berechnet, so zeigt das Mittel dieser Abweichungen, je nachdem es positiv oder negativ ausfällt, ob die Kurven in derselben oder in entgegengesetzter Richtung schwanken. Auf analoge Weise berechnet man die Abweichungen der Kurve B, die den Senkungen der Kurve A entsprechen. Führen die Messungen verschiedener, zu verschiedenen Zeiten auf diese Weise untersuchten Vp. zu dem nämlichen Resultate, so kann dies keine Zufälligkeit sein.

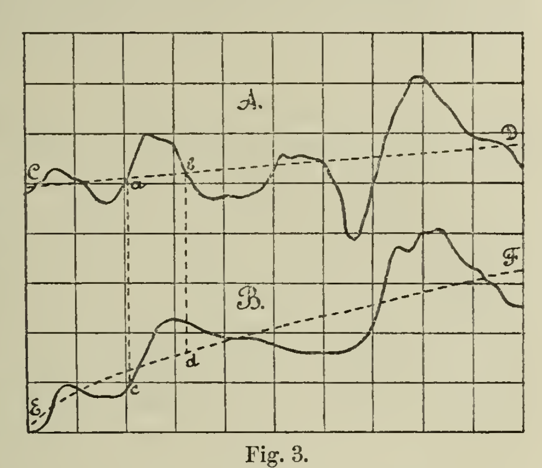


Fig. 3.

Hinsichtlich solcher Vorsichtsmaßregeln haben sich die Forscher die Arbeit gewöhnlich sehr leicht gemacht. Besonders Schuyten und Lobsien[1]) scheuen sich nicht, aus Messungen, die im Laufe von zehn Monaten ein- oder ein paar mal monatlich angestellt wurden, auf den ganzen jährlichen Verlauf der Arbeitsleistung der Kinder zu schließen, ohne im geringsten der Möglichkeit zu gedenken, daß die gefundenen Schwankungen Zufälligkeiten sein können, die sich in einem folgenden Jahre nicht wiederholen werden. Beispiele dieser Art können dem uns vorliegenden großen Versuchsmaterial leicht entnommen werden. Stellen wir z. B. die Messungen um den 15. jeden Monates in den Jahren 1904 und 1906 zusammen, so erhalten wir folgende Tabelle, wo die

1) In den oben S. 102—103 zitierten Arbeiten.

Tabelle III.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1904	21,4	22,9	26,3	25,3		27,4	28,6	27,8	29,4	29,7	29,8
1906	26,1	26,6	29,1	30,6	32,2	33,2	33,2	34,0	36,1	36,7	37,6

Zahlen die mittleren Werte der Muskelkraft einer Knabenklasse angeben. Wie aus der Tabelle leicht ersichtlich, zeigen die Monate April und September im ersten Jahre eine entschiedene Abnahme der Muskelkraft; hiervon ist aber gar keine Spur im zweiten Jahre zu finden. Was nun hier als Norm angesehen werden soll, läßt sich gar nicht entscheiden; das eine wie das andere Resultat kann eine »Zufälligkeit« sein. Die hier erwähnten Zahlen sind zwar nur die Mittel einer einzigen Klasse, während Schuyten und Lobsien ihre Vp. zu Hunderten zählen konnten; dies macht aber in dieser Beziehung gar keinen Unterschied. Durch das Heranziehen vieler Vp. können nämlich unzweifelhaft individuelle Unterschiede eliminiert werden, dagegen nicht die Einflüsse äußerer Umstände, die allen Vp. gemeinsam sind. Gehen wir davon aus — und a priori läßt sich die Möglichkeit jedenfalls nicht abweisen — daß Luftdruck, Temperatur usw. den menschlichen Organismus gesetzmäßig beeinflussen, so werden sich die Wirkungen dieser Faktoren auch zeigen, einerlei ob zehn oder hundert Personen gleichzeitig untersucht werden. Folglich erhält man auch, unabhängig von der Anzahl der Vp., ganz verschiedene Resultate, wenn es das eine Jahr im Februar mild, im März dagegen wieder Winter ist, und wenn es das nächste Jahr im Februar noch Winter, im März dagegen schon Frühling ist. Die Untersuchungen der genannten Forscher zeigen daher, unseres Ermessens, nur, wie sich die körperliche und seelische Arbeitsfähigkeit der Kinder in den betreffenden Jahren entwickelt hat; irgend welche allgemeinere Schlüsse daraus zu ziehen, ist durchaus unzulässig.

Die Muskelarbeit.

4) Apparate und Versuchsanordnung.

Die Messungen der Muskelarbeit wurden, wie schon oben angegeben, teils als Massenuntersuchungen, mit sämtlichen Schülern verschiedener Klassen, teils als Einzeluntersuchungen, mit einigen Erwachsenen, durchgeführt. Da sowohl die Apparate wie die Versuchsanordnung in den beiden Fällen aus praktischen Rücksichten verschieden sein mußten, soll jede dieser Gruppen im folgenden besonders besprochen werden.

Die Schulversuche. Als Meßapparat wandten wir hier den von Lehmann konstruierten Ergographen an[1]), der besonders bei Schulversuchen vor dem Regnierschen Dynamometer große Vorzüge darbietet. Wird der hölzerne Handgriff von den Fingern ergriffen, ist dadurch die ganze Stellung der Hand gegeben, sodaß der Zug sich schwerlich in einer schiefen Richtung ausführen läßt, weshalb die sukzessiven Hebungen sehr gleichförmig ausfallen. Das Regniersche Dynamometer dagegen kann man auf sehr verschiedene Weise ergreifen, und je nach der Stellung der Hand und der dadurch bedingten Druckrichtung können sehr erhebliche Druckschwankungen entstehen. Selbst geübten Vp., die das Dynamometer jahrelang tagtäglich benutzt haben, gelingt es nicht immer, den Apparat in die rechte Lage zu bringen, so daß nach mehreren gut übereinstimmenden Werten plötzlich ein entschieden falscher Wert erhalten werden kann. Zu Massenuntersuchungen eignet sich das Dynamometer daher nicht, ganz davon abgesehen, daß seine Form und Größe sich den verschiedenen Händen nicht anpassen lassen. Ist aber der Apparat der Hand nicht angemessen, wird der geleistete Druck ganz bedeutend herabgesetzt. Man müßte also eigentlich für Schulversuche eine ganze Auswahl von Dynamometern besitzen, damit sich jeder Schüler den ihm bequemsten Apparat aussuchen könnte. Diese Methode ist aber auch nicht einwandfrei, weil die Angaben verschiedener Dynamometer durchaus unvergleichbar sind. Diesen Punkt werden wir weiter unten besprechen.

---

1) Lehmann, Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 2. Teil. Leipzig 1901. S. 124.

Alle erwähnten Übelstände sind beim Lehmannschen Ergographen beseitigt, wo die Richtung des Druckes konstant ist, und der Handgriff durch einfache Drehung einer Schraube in diejenige Entfernung von der Leiste gebracht werden kann, die der Hand am bequemsten ist. Es wurde bei unsern Versuchen stets darauf geachtet, daß der Handgriff für dieselben Vp. sich in der nämlichen Lage befand, und ebenso, daß der Daumen neben den andern Fingern gehalten wurde. Unmittelbar vor der Messung trocknete jeder Knabe die Hände an einem Tuche; der Handgriff und die Leiste wurden gleichfalls häufig getrocknet, um nicht durch den Schweiß der Kinder feucht und glatt zu werden. Zufälligkeiten wurden so weit möglich dadurch ausgeglichen, daß jeder Schüler in einem bestimmten Tempo vier nacheinander folgende Drucke ausführte, die nicht graphisch registriert, sondern einfach nach der Stellung des Maximumzeigers abgelesen wurden. Mehr als vier Drucke von jedem Schüler zu erhalten, erlaubte uns die zur Verfügung stehende Zeit nicht; dies genügt aber auch, indem der mittlere Fehler des Mittelwertes von vier Drucken nur die Hälfte des mittleren Fehlers der Einzelmessungen ist. Durch eine größere Anzahl Messungen wird der mittlere Fehler des Mittelwertes nur wenig herabgesetzt, während die Ermüdung stark anwächst, so daß der Vorteil wenigstens zweifelhaft wird.

Vor den eigentlichen Messungen ließen wir jeden Schüler einige Vorversuche machen, um in einem bestimmten Tempo ziehen zu lernen. Das Intervall der aufeinander folgenden Drucke war vier Sekunden; selbstverständlich wäre es besser gewesen, wenn es etwas größer hätte genommen werden können, die Versuche durften aber nur so wenig Zeit in Anspruch nehmen, daß von solchen Vorsichtsmaßregeln abgesehen werden mußte. Da die Messungen nur die relativen Werte, die Schwankungen von Tag zu Tag, zu bestimmen beabsichtigten, war es ohne Bedeutung, ob die Muskeln sich in der Zwischenzeit zwischen den einzelnen Drucken vollständig erholten, das Intervall konnte also einen beliebigen Wert haben, wenn derselbe nur stets konstant gehalten wurde.

Ein anderer Faktor, der wahrscheinlich die gemessene Größe der Muskelkraft beeinflußt, ist die Geschwindigkeit, mit welcher jeder Druck ausgeführt wird. Der Energieverbrauch des Muskels während der Arbeit ist wahrscheinlich eine Funktion nicht nur der erreichten Spannung, sondern auch der Zeit, während welcher

derselbe gespannt gehalten wird. Zu einer bestimmten, vom Muskel geleisteten äußeren Arbeit wird also nicht immer dieselbe Energiemenge verbraucht, indem diese von der Zeit, die die Arbeit beansprucht, abhängig wird. Bei den Messungen mit dem Federdynamometer ist die geleistete äußere Arbeit $\frac{1}{2} K a$, wo K der abgelesene Maximaldruck, a die Verlängerung (bzw. Verkürzung) der Feder ist; die angewandte Muskelenergie ist aber wahrscheinlich um so größer, je länger es dauert, ehe K erreicht wird. Man darf deshalb, innerhalb gewisser Grenzen, einen um so größeren Maximalwert des Druckes erwarten, je schneller die Bewegung ausgeführt wird. Aus diesem Grunde wurden die Schüler geübt, mit einer konstanten Geschwindigkeit zu ziehen; eine völlige Gleichmäßigkeit ließ sich jedoch nicht erreichen.

Wenn die erwähnten Verhältnisse berücksichtigt werden, darf man annehmen, daß größere zufällige Fehler während der Versuche einigermaßen ausgeschlossen sind. Es erübrigt dann nur die Ausgleichung solcher Fehler, die von Indisposition, Müdigkeit u. dgl. herrühren und die Resultate stark beeinflussen können. Wenn ein Schüler, was jedoch selten stattfand, im voraus irgend eine solche Ursache angab, wurden seine Werte gar nicht mitgerechnet, dagegen durch den mittleren Wert des vorhergehenden und des folgenden Versuchstages ersetzt. Dasselbe Verfahren haben wir angewandt, wenn ein Schüler einen einzelnen Tag abwesend war. Die hierdurch entstandenen Fehler können gewiß vernachlässigt werden, da nur die Mittelwerte der Messungen sämtlicher Schüler an jedem Versuchstage in Betracht gezogen werden. Solche Schüler dagegen, die wegen Krankheit oder anderer Umstände die Schule längere Zeit hindurch versäumten, sind bei der Berechnung der Mittelwerte einfach ausgeschaltet. Daß die Resultate übrigens wirklich Maximalwerte sind, kann keinem Zweifel unterliegen. Die Knaben betrachteten nämlich die Prüfung als einen neuen, interessanten Sport und arbeiteten um die Wette, so daß jeder gewiß sein Äußerstes tat.

Die Versuche im Jahre 1904—1905 wurden nur einmal wöchentlich, jedesmal an demselben Wochentage, um 9—10 Uhr morgens ausgeführt. Sie fallen in die folgenden vier Reihen.

1) Von Anfang Januar bis Ende April. 21 12—13jährige Schüler.

2) Im Juni und nach den Sommerferien vom 12. August bis Ende März 1905. 21 10—11jährige Schüler.

3) Während derselben Zeit wie 2). 18 11—12jährige Schüler.

4) Wie 3) 21 13—14jährige Schüler.

Im Jahre 1906 wurden die Messungen an jedem Schultage angestellt, dagegen war es nicht möglich, eine ganz konstante Tageszeit innezuhalten; die Versuche wurden jedoch entweder um 11 oder um 12 Uhr vorm. ausgeführt. Die Messungen fingen am 19. Januar an und wurden am 21. Dezember beendigt; die Sommerferien, vom 1. Juni bis 12. August, unterbrachen leider diese wie alle früheren Versuchsreihen. Es beteiligten sich 10 12—13jährige Schüler.

Die individuellen Messungen. Bei diesen Bestimmungen den Lehmannschen Ergographen zu benutzen, war leider nicht möglich. Der Apparat mißt 12 × 50 cm und wiegt ungefähr 3 Kilo; auf Reisen, die die Vp. häufig zu machen hatten, läßt er sich also nur schwierig mitnehmen, und noch weniger eignet er sich zu Untersuchungen auf Bergbesteigungen. Es mußte also ein handlicherer Apparat gewählt werden, und in dieser Beziehung läßt das kleine Regniersche Dynamometer nichts zu wünschen übrig. Die drei von uns benutzten Apparate, im folgenden als I, II und III bezeichnet, waren vom Mechaniker Zimmermann in Leipzig geliefert und alle drei verschieden. An Form sind I und II gleich, indem die große Achse der elliptischen Feder 12,5 cm, die kleine Achse 5,5 cm mißt; die Feder des I ist aber etwas steifer als diejenige des II; die Maximalwerte der Druckskalen sind bzw. 90 und 65 Kilo. Da nun die erwähnte Querdimension des Dynamometers eigentlich für eine Hand normaler Größe etwas zu groß ist, so folgt hieraus, daß man mit dem Dynamometer II höhere Druckwerte als mit I erzielen kann, weil die nachgiebigere Feder bei gleichem Drucke sich stärker biegt, und das Dynamometer somit bequemer in der Hand liegen wird. Der Unterschied wird, wie leicht verständlich, um so merkbarer, je stärker man drücken kann, und die Angaben des einen Dynamometers können somit nicht einfach mittels eines konstanten Faktors auf die des anderen reduziert werden. Obschon die beiden Dynamometer also fast gleich sind, werden ihre Angaben eigentlich doch inkommensurable Größen. Dies tritt noch deutlicher beim Dynamometer III hervor. Dieser Apparat wurde besonders für die kleine Hand des Frl. J. hergestellt; die große Achse der Feder ist 12,5 cm, die kleine Achse dagegen nur 5 cm, und der Maximalwert der Druckskala 60 Kilo. Die Feder ist also fast ebenso steif wie die des Dynamo-

meters II, da der Apparat sich aber viel bequemer von der Hand umschließen läßt, erreicht man damit viel höhere Druckwerte. Wie groß der Unterschied werden kann, geht aus folgenden Zahlen hervor. Bei einer Probemessung erreichte Frl. J. mit dem Dynamometer III im Mittel 49,0 Kilo, mit dem Dynamometer I dagegen nur 24,3 Kilo, also kaum die Hälfte. Die Vp. L., die mit dem Dynamometer I im Mittel 45 Kilo erreichte, konnte den Zeiger des Dynamometers III weit über den Maximalwert hinausdrücken.

Aus diesem Vergleich ist ersichtlich, daß die Angaben unserer drei Dynamometer inkommensurabel sind; nur die von einer bestimmten Vp. mit dem nämlichen Dynamometer gefundenen Größen dürfen verglichen werden. Bei unseren Messungen benutzte selbstverständlich jede Vp. stets ihr eigenes Dynamometer; Frl. J. Nr. III, P. Nr. II und L. Nr. I. Diese Verteilung der Meßapparate macht die Sonderbarkeit verständlich, die im folgenden überall hervortritt, daß Frl. J. viel stärker als L. zu sein scheint. Aus den obenangeführten Zahlen geht aber evident hervor, daß dies nur eine Täuschung ist[1]).

Da die glatte Stahlfeder des Dynamometers nicht nur leicht in der Hand gleitet, sondern oft auch einen unerträglichen Schmerz hervorrufen kann, wurden unsere Apparate sorgfältig bewickelt An der Außenseite der Feder ist oben und unten ein doppelter Streifen dicken Flanells festgeklebt, und darauf ist um die ganze Feder herum ein starkes leinenes Band straff gewunden; die Enden des Bandes sind einfach zusammengenäht. Diese Bewickelung hat sich vorzüglich bewährt; sie ist weich genug, um die Hand gegen unangenehme Drucke zu schützen, sie verhindert das Gleiten des

1) Was hier von unsern Dynamometern nachgewiesen ist, gilt unzweifelhaft für alle derartigen Apparate, die nicht der Hand angepaßt werden können: ihre Angaben sind einfach unvergleichbar. Es hat daher auch gar keinen Zweck, Druckwerte, die mit verschiedenen Apparaten unbekannter Konstruktion erreicht worden sind, zum Vergleich zusammenzustellen, wie es Hoesch-Ernst (Das Schulkind in seiner körperlichen und geistigen Entwicklung, Leipzig 1906) getan hat. Aus ihrer Tabelle XVII geht hervor, daß 12—13jährige Züricher Kinder eine Druckkraft von 20,5 Kilo besitzen, während New-Yorker Kinder desselben Alters nur 16,3 Kilo zu drücken vermögen. Im folgenden wird es sich zeigen, daß unsere Kinder, aus den ärmsten Volksschichten Kopenhagens, im nämlichen Alter eine Druckkraft von 36—37 Kilo anfweisen. Es ist wohl kaum glaublich, daß diese Zahlen das tatsächliche Verhältnis zwischen den betreffenden Kindern angeben; die Zahlen sind vielmehr nur ein Ausdruck für die Verschiedenheit der angewandten Meßapparate.

Apparates und sitzt nach jahrelangem Gebrauch so fest wie am ersten Tage.

Selbstverständlich war uns viel daran gelegen, daß die täglichen Messungen nicht durch zufällige Beschädigungen der Hand ins Stocken gerieten. Solchen Unfällen ist natürlich die Hand am leichtesten ausgesetzt, die am meisten gebraucht wird; gleich von Anfang an wurde daher festgesetzt, daß die Messungen mit der linken Hand ausgeführt werden sollten; nur P., der Linkshänder ist, gebrauchte stets die rechte Hand. Die Kinder dagegen, denen man eine solche ungewohnte Arbeitsweise nicht zumuten konnte, drückten mit der von ihnen bevorzugten Hand.

In betreff der Versuchsanordnung wurde es gleich von Anfang an bestimmt, daß sämtliche Messungen morgens sofort nach dem Aufstehen und vor dem Frühstück ausgeführt werden sollten, weil es im voraus als unzweifelhaft anzusehen war, daß die Beschäftigung des Tages einen wesentlichen Einfluß auf die Resultate ausüben würde. Die Richtigkeit dieser Annahme ist übrigens durch die Messungen Storeys erhärtet[1]), aus welchen sich gesetzmäßige periodische Schwankungen der Muskelkraft im Laufe des Tages ergaben. Inwiefern Storey die Abhängigkeit dieser Schwankungen von der Beschäftigung, von den Mahlzeiten usw. untersucht hat, wissen wir nicht, da die betreffende Abhandlung uns leider nicht zugänglich und nur aus einem sehr kurzen Referate bekannt ist: der Tatsache, daß Variationen vorkommen, mußte aber Rechnung getragen werden, was wir am besten durch die gewählte Zeit zu tun glaubten. Fernere Vorsichtsmaßregeln waren nicht vorgeschrieben; eine möglichst große Abstinenz von Alkohol wurde als selbstverständlich vorausgesetzt. Von einer bestimmten Lebensordnung, einem Ernährungsreglement u. dgl. konnte bei diesen jahrelang dauernden Versuchen keine Rede sein, weil es einfach undurchführbar war. Andererseits hatte es, unseres Erachtens, auch keinen Zweck. Ließe sich nämlich die Beeinflussung unserer Arbeit von den meteorologischen Verhältnissen nur unter solchen speziellen, im täglichen Leben nie vorkommenden Umständen erweisen, so wäre sie folglich ohne praktische Bedeutung, und ihr Nachweis mithin ohne Interesse. Wenn sie dagegen, trotz aller Unregelmäßigkeit des gewöhnlichen Lebens, nachgewiesen werden

---

1) Studies in voluntary muscular contraction. California. 1904.

könnte, so wäre die Sache beachtenswert. Daß dies tatsächlich der Fall ist, wird aus dem Folgenden ersichtlich.

Bei den individuellen Bestimmungen der Muskelkraft wurden jedesmal fünf Einzelmessungen ausgeführt. Ein bestimmtes Tempo war nicht vorgeschrieben, nur durfte das Intervall nicht kürzer als 30 Sekunden sein, damit sich die Muskeln vollständig erholen konnten. Dasselbe Verfahren wurde übrigens auch bei den Messungen angewandt, die zur Untersuchung des Einflusses der Beschäftigung und der Übung angestellt wurden, und die wir jetzt zuerst besprechen werden.

5) Einfluß der Beschäftigung und der Übung auf die Muskelarbeit.

Die Beschäftigung. Zu verschiedenen Zeiten, wo eine völlig regelmäßige Lebensweise möglich war, wurde die Gelegenheit benutzt, den Einfluß der Beschäftigung zu untersuchen. An vier aufeinander folgenden Tagen in den Osterferien 1905 stellte L. die folgenden Versuche an. Nach den gewöhnlichen Messungen morgens um 9 Uhr, wurde die Zeit mit sehr leichter Lektüre vertrieben. Um 1 Uhr, unmittelbar vor einem zweistündigen Spaziergange, wurde die Druckkraft wiederum gemessen, und ebenso nach der Rückkehr, zwischen 3 und 4 Uhr. Der Abend verstrich teils bei leichter Lektüre — von eigentlicher Arbeit war gar keine Rede — teils mit gesellschaftlicher Unterhaltung, und beim Zubettegehen wurde die Muskelkraft um 11—12 Uhr nochmals gemessen. Die Resultate gehen aus Tabelle IV hervor, wo die Mittel

Tabelle IV.

	9 Uhr	1 Uhr	3—4 Uhr	11—12 Uhr
Kilo	32,5	31,8	35,3	30,9
m. A.	1,1	0,7	0,6	1,0

der zu den verschiedenen Tageszeiten erhaltenen Werte nebst den mittleren Abweichungen derselben angegeben sind. Sehr deutlich zeigen sich hier teils der fördernde Einfluß des Spazierganges, teils die Herabsetzung der Muskelkraft abends wegen Schläfrigkeit. Gegen dies Resultat läßt sich nun zwar der Einwand

erheben, daß der große Wert um 3—4 Uhr nicht eine Folge des Spazierganges, sondern einfach von der Tageszeit abhängig sein kann. Da Kontrollversuche fehlen, bleibt es ganz unentschieden, ob die Druckkraft nicht ebensowohl ohne Bewegung im Freien dieselbe Größe erreicht hätte.

Aus den Sommerferien desselben Jahres liegt eine größere Versuchsreihe vor, die von der nämlichen Vp. angestellt wurde, teils um diesen Punkt näher zu beleuchten, teils um den Einfluß beträchtlicher aber kurzdauernder Luftdruckerniederungen auf die Muskelarbeit zu untersuchen. Im ganzen wurden 10 Versuche angestellt, bald vormittags zwischen 10 und 2 Uhr, bald nachmittags zwischen 5 und 9 Uhr. Jedesmal wurde ein zweistündiger Spaziergang gemacht und die Muskelkraft gemessen: I zu Hause, unmittelbar vor dem Fortgang, II eine Stunde später und III zu Hause, unmittelbar nach der Rückkehr. In der Hälfte der Versuche ging der Weg auf der Ebene, am Ufer eines Sees, in der anderen Hälfte wurde ein 400 m ansteigender Pfad eingeschlagen, wodurch sich in drei Viertelstunden eine Luftdruckverminderung um 32 mm erzielen ließ. Die Resultate jeder Versuchsgruppe sind in der ersten Reihe der Tabelle V angegeben, wo die Zahlen Mittelwerte

Tabelle V.

	Auf der Ebene			Mit Steigen		
	I	II	III	I	II	III
Kilo	37,2	37,8	38,0	36,8	37,9	38,4
m. A.	0,8	0,9	0,4	1,3	1,4	1,3

der fünf gleichartigen Einzelversuche sind; außerdem sind die mittleren Abweichungen der Messungen angeführt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Muskelkraft während der Bewegung im Freien stetig anwächst, und da diese Versuche zu ganz anderen Tageszeiten als die der Tabelle IV ausgeführt wurden, kann also nicht die Tageszeit, sondern nur die Bewegung die Ursache der Veränderungen sein. Hieraus folgt dann ferner, daß nur solche Messungen, die morgens vor irgendwelcher Beschäftigung ausgeführt werden, vergleichbar sind, weil die verschiedenen Tätigkeiten des Tages, je auf ihre Weise, unzweifelhaft die Muskelkraft beeinflussen. Übrigens wird es recht unverständlich, wie es Storey

gelungen ist, eine Tageskurve der Muskelkraft aufzustellen; die verschiedenen Einflüsse der Arbeit und des Müssigganges, der Bewegung und der Ruhe können nicht leicht eliminiert werden, und anderseits können die Vp. auch nicht den ganzen Tag hindurch vollständig unbeschäftigt bleiben.

Die eben besprochenen Versuche der Tabelle V zeigen ferner, daß eine kurzdauernde Luftdruckverminderung keinen nachweisbaren Einfluß auf die Muskelkraft auszuüben vermag. Die beim Steigen gefundenen Zahlen wachsen ebenso regelmäßig als die auf der Ebene erhaltenen; die Differenzen der Werte beider Gruppen sind jedenfalls zu gering, um bestimmte Schlußfolgerungen zu erlauben. Ein mehrstündiger Aufenthalt in der Höhe, dessen Einfluß gleichfalls gelegentlich untersucht wurde, ergab ebensowenig eine bestimmte Wirkung der Luftdruckverminderung, indem die erhaltenen Werte der Muskelkraft ganz davon abhängig waren, ob die Vp. sich in Bewegung oder in Ruhe gehalten hatten. Die Richtigkeit der oben (S. 110) aufgestellten Behauptung, daß eine Luftdruckveränderung eine gewisse Dauer haben muß, um überhaupt die Muskelkraft beeinflussen zu können, ist hiermit außer Zweifel gestellt. Daß die hier besprochenen Resultate übrigens nicht nur eine individuelle Eigentümlichkeit der betreffenden Vp. sind, sondern Allgemeingültigkeit beanspruchen können, geht aus mehreren Versuchsreihen hervor, die mit gelegentlich sich darbietenden Personen angestellt wurden. Als Beispiel führen wir nur die in Tabelle VI angegebenen Resultate des 19jährigen

Tabelle VI.

Datum	Mit Steigen		
	I	II	III
28. Juli	30,0	32,6	32,6
11. August	40,2	41,6	42,2
15. August	35,8	37,4	38,0

norwegischen Studenten Herrn S. an. Die Versuche sind unter genau den nämlichen Umständen wie die der Tabelle V ausgeführt. Die an drei verschiedenen Versuchstagen erhaltenen Werte zeigen ein ungewöhnlich starkes Schwanken von Tag zu Tag; die Ursache dieser interessanten Erscheinung wird uns weiter unten beschäftigen.

Es ist wohl kaum notwendig, hervorzuheben, daß die hier nachgewiesene Wirkung der Bewegung im Freien nur dann hervortritt, wenn die Motion sich auf einen erquickenden Spaziergang beschränkt; daß die Muskelkraft dagegen bei einer ermüdenden Wanderung, besonders bei heißem Wetter, allmählich sinkt, ist zu bekannt, um einen näheren Beweis zu erfordern.

Die Übung. Daß die Kraft der Muskeln durch Übung wächst, ist eine alltägliche Erfahrung; wie lange aber dieses Wachstum andauern, und wie viel durch eine bestimmte regelmäßige Übung gewonnen werden kann, ist unseres Wissens noch nie in einem gegebenen Falle genau bestimmt worden. Die Bestimmung wird wohl auch zumeist unmöglich sein, weil viele andere Faktoren als die Übung die Muskelkraft beeinflussen können, so daß es sich schwerlich entscheiden läßt, ein wie großer Teil einer erwiesenen Veränderung der Übung zuzuschreiben ist. Handelt es sich aber, wie bei unseren Messungen, um die einseitige Übung einer Hand, so ist die Lösung des Problems relativ leicht, indem dann die Werte der beiden Hände auf verschiedenen Übungsstadien miteinander verglichen werden können. Um die Sache etwas näher zu ermitteln, stellte L. vom 21. August bis 10. Oktober 1906 die folgenden Versuche an. Bis zu diesem Zeitpunkt war die linke Hand seit fünf Vierteljahren bei den täglichen Messungen benutzt worden, so daß von einer ferneren Wirkung der Übung wohl kaum die Rede sein konnte. Um das Verhältnis zwischen der ungeübten rechten und der geübten linken Hand genau festzustellen, fing L. nun an, auch mit der rechten tägliche Messungen anzustellen; dieselben wurden anfangs aber nur an wenigen nacheinander folgenden Tagen angestellt, dann einige Tage ausgesetzt, wieder aufgenommen usf. Der Zweck dieses unregelmäßigen Wechsels war eben, die rechte Hand vorläufig möglichst wenig zu üben. Nachdem auf diese Weise das Verhältnis zwischen den Druckwerten der beiden Hände festgestellt war, wurden die täglichen Messungen stets auch mit der rechten Hand ausgeführt, um die Wirkung der regelmäßigen Übung zu bestimmen. Die von Tag zu Tag erhaltenen Werte sind in Tabelle VII angegeben, wo die Druckwerte der linken Hand unter s, diejenigen der rechten unter d aufgeführt sind. Außerdem kommen in der Tabelle vor das Verhältnis d/s und die nach Gleich. 4 ausgeglichenen Werte dieses Verhältnisses (d/s). Der leichteren Übersicht wegen sind in Figur 4 so-

wohl die Werte s und d als das Verhältnis (d/s) graphisch dargestellt.

Betrachten wir nun zuvörderst die Tabelle VII, so ist es leicht ersichtlich, daß ohne die gleichzeitige Bestimmung der Druckwerte beider Hände die tatsächliche Wirkung der Übung sich gar nicht

Tabelle VII.

Datum	s	d	d/s	(d/s)	Datum	s	d	d/s	(d/s)
Aug. 21	39,2	41,0	1,046		Sept. 18	46,0	51,2	1,099	1,114
22	39,4	41,2	46	1,049	19	46,6	51,8	112	123
23	41,4	43,8	58	53	20	46,8	53,2	137	132
24	39,6				21	45,2	51,2	133	130
25	40,2				22	44,6	49,8	116	122
26	41,2				23	45,2	50,8	124	124
27	41,8	43,8	48	49	24	45,2	51,2	133	137
28	41,8				25	45,2	52,4	159	150
29	42,0	43,8	43	44	26	46,8	53,8	150	152
30	42,0	43,8	43	49	27	45,4	52,2	150	144
31	43,0	45,8	65	67	28	45,0	51,6	146	150
Sept. 1	42,6				29	45,6	52,8	158	154
2	41,8				30	44,0	52,6	154	159
3	40,8				Okt. 1	45,2	52,8	168	164
4	42,0				2	45,6	53,2	167	171
5	42,0	46,0	95	78	3	45,4	53,6	180	184
6	44,2	47,2	67	81	4	44,0	53,2	209	193
7	44,0				5	45,6	53,6	175	184
8	42,8				6	44,4	52,2	175	180
9	47,2	51,6	93	87	7	45,2	54,0	195	184
10	46,4				8	44,8	52,4	169	178
11	46,8	51,2	94	105	9	46,0	54,2	178	1,181
12	47,4	54,0	139	127	10	44,2	53,0	199	
13	47,0	53,4	136	135	Dez. 22	43,0	48,2	121	
14	46,2				23	42,8	48,6	140	1,131
15	46,8				24	41,8	47,0	124	129
16	46,6	52,6	129	130	25	41,6	47,0	129	1,138
17	47,6	53,6	1,126	1,120	26	41,8	48,8	1,168	

bestimmen ließe. Anfangs (21.—22. August) ist die Druckkraft der rechten Hand 41 Kilo, am Ende der Versuche (1.—10. Oktober) etwa 53,5 Kilo. Wollte man diese Veränderung als die Wirkung der Übung betrachten, so erhielte man also das Resultat, daß die Muskelkraft im Laufe von sechs Wochen durch die Übung um 53,5/41 = 1,30 oder 30 % gesteigert wäre. Dies Resultat würde aber unzweifelhaft falsch sein, denn gleichzeitig ist die Druckkraft

der linken Hand von 39,3 bis auf 45 Kilo gewachsen, was jedenfalls nicht von der Übung herrühren kann, da die Druckkraft dieser Hand während der beiden vorhergehenden Monate nur wenig um 41 Kilo herum schwankte (vgl. Tabelle VIII). Aller Wahrscheinlichkeit nach muß also hier eine vorläufig unbekannte Ursache gewirkt haben, und wenn wir annehmen, daß dieselbe eine der Druckkraft der beiden Hände proportionale Steigerung verursacht haben würde, wenn die Übung nicht tätig gewesen wäre, so läßt sich die Wirkung der letzteren berechnen. Für die ersten sieben Tage, wo mit der rechten Hand gearbeitet wurde, findet man im Mittel $d/s = 1{,}050$, und dies Verhältnis würde also konstant bleiben, wenn nur solche Kräfte wirksam wären, die die Druckkraft der beiden Hände gleichmäßig beeinflußten. Für die letzten sieben Versuchstage findet man aber im Mittel $d/s = 1{,}186$, und die einseitig wirkende Übung hat somit die Druckkraft der rechten Hand um $1{,}186/1{,}05 = 1{,}13$ oder 13 % gesteigert. Dies Resultat ist unzweifelhaft richtiger als die obigen 30 %, weil es nicht eben wahrscheinlich ist, daß die am meisten benutzte rechte Hand durch fünf tägliche Drucke ein Drittel an Muskelkraft sollte gewinnen können.

Aus der Tabelle VII geht ferner hervor, daß diese Versuche Ende Dezember wieder einige Tage hindurch aufgenommen wurden. Im Mittel findet man hier $d/s = 1{,}13$; wegen der fehlenden Übung ist also die Druckkraft der rechten Hand zwar bedeutend zurückgegangen, aber keineswegs auf den ursprünglichen Wert $d/s = 1{,}05$. Es bestätigt sich also auch hier der Satz, daß man die einmal erreichte Übung nie vollständig verliert.

Die hier gefundenen Resultate dürfen selbstverständlich nicht verallgemeinert werden, da sie nur von einer Vp. herrühren, sie geben aber jedenfalls eine bestimmte Vorstellung davon, was durch eine solche kleine tägliche Übung gewonnen werden kann. Übrigens können wir leicht nachweisen, daß die Resultate auch für andere Vp. ungefähr zutreffen. Aus den drei Kolonnen P., K. und J. der Tabelle VIII ist ersichtlich, daß die am 29. Januar bzw. am 30. März anfangenden Versuchsreihen während eines Monats stark anwachsende Werte zeigen; darauf werden die Werte entweder fast konstant oder sie wachsen viel langsamer an. Wenn wir nun annehmen dürften — was nach dem Obenangeführten nicht ganz zulässig ist — daß dies anfängliche starke Steigen ausschließlich von der Übung herrührte, so würde man also für P. $49{,}1/42{,}4 = 1{,}158$,

für K. 29,2/26,2 = 1,115 und für J. 42,0/37,2 = 1,129, oder bzw. 16, 11,5 und 13 % als Wirkung der Übung haben. Diese Zahlen schwanken sehr hübsch um die oben gefundenen 13 % herum, da aber bei den hier besprochenen drei Fällen andere steigernde Faktoren nicht ausgeschlossen sind, so läßt sich wohl als allgemeines Resultat feststellen, daß die Übung bei unseren täglichen Messungen der Muskelkraft ungefähr nach einem Monat ihre Wirkung beendigt und eine Steigerung der Druckkraft von nicht über 13 % zustandegebracht hat.

Betrachten wir schließlich die Figur 4, wo die Werte der Tabelle VII graphisch dargestellt sind, so lassen sich aus derselben zwei wichtige Resultate ersehen. Erstens sieht man, daß die Werte

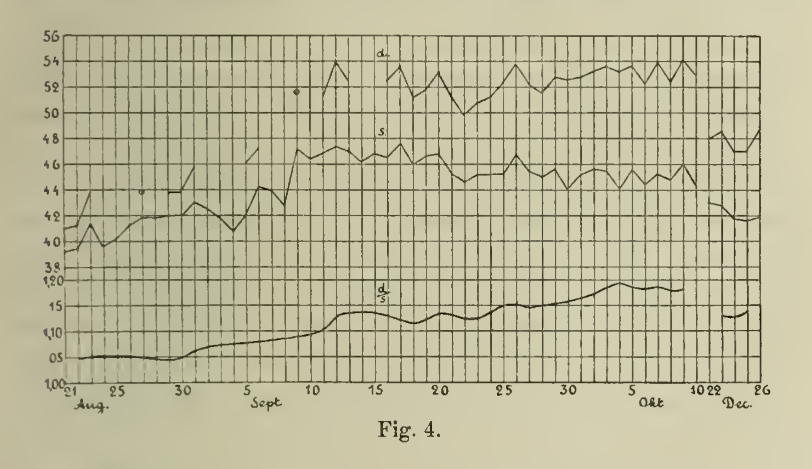


Fig. 4.

der rechten Hand *d* und die der linken Hand *s* von Tag zu Tag übereinstimmend schwanken; es kommt nur ganz ausnahmsweise vor, daß die Druckkraft der einen Hand um ein weniges steigt, während die der anderen Hand sinkt. Hieraus lernen wir, daß Zufälligkeiten zwar nicht ausgeschlossen sind, daß die täglichen Schwankungen aber keineswegs ausschließlich Zufälligkeiten sind, sondern gemeinsame Ursachen haben müssen. Eben diese Ursachen ausfindig zu machen, wird im folgenden unsere Aufgabe sein. Zweitens sieht man, daß die Übung der rechten Hand, durch das Verhältnis (d/s) gemessen, anfangs ziemlich stark anwächst, obschon die Messungen nur ab und zu ausgeführt wurden; von dem Augenblick an, wo auch diese Hand täglich angewandt wird, steigt die Übung fast gleichmäßig und wird dann konstant.

6) Abhängigkeit der Muskelkraft von der Lichtstärke.

Der Kürze halber bezeichnen wir hier als Lichtstärke die gesamte Größe der chemischen Strahlung während eines Tages, welche bei unseren Messungen, wie schon oben auseinandergesetzt, wahrscheinlich allein in Betracht zu ziehen ist. Die Lichtstärke zeigt auf unserer geographischen Breite eine sehr beträchtliche jährliche Periode, indem die Länge des kürzesten Tages nur $6^h\ 55'$, diejenige des längsten Tages dagegen $17^h\ 26'$ beträgt. Außerdem kommen hier zu jeder Jahreszeit unregelmäßige, von der Wolkenbildung usw. herrührende Schwankungen vor, die eine erhebliche Größe und Dauer haben können. Die Verhältnisse sind also für den Nachweis der Beziehung zwischen Lichtstärke und Arbeitsfähigkeit die möglichst günstigen, wenn eine solche Beziehung überhaupt existiert. Da es nun aber außer allem Zweifel steht, daß die Schwankungen der Muskelkraft nicht ausschließlich von den Variationen der Lichtstärke abhängig sind, kann man nicht erwarten, daß die Veränderungen der Lichtstärke und die der Muskelkraft von Tag zu Tag einander entsprechen sollten. Stellt man die täglich gemessenen Größen als Funktionen der Zeit graphisch dar, so erhält man denn auch zwei Kurven, zwischen welchen sich schwerlich Übereinstimmungen nachweisen lassen. Die Wirkung der zahlreichen fremden Faktoren auf die Muskelkraft müssen wir also auf die Weise eliminieren, daß nur die Mittelwerte der Messungen bestimmter Perioden in Betracht gezogen werden. Wie groß diese Perioden zu machen sind, läßt sich natürlich nicht im voraus angeben, sondern nur dadurch ermitteln, daß verschiedene, mehr oder weniger starke Ausgleichungen durchprobiert werden. So haben wir gefunden, daß die mittleren Werte der Messungen von je zehn Tagen unserem Zwecke entsprechen. Die Resultate unserer täglichen Messungen der Lichtstärke und der Muskelkraft aus den Jahren 1905—1906, auf die erwähnte Weise bearbeitet, sind in Tabelle VIII wiedergegeben.

Die Daten in der ersten Kolonne der Tabelle VIII sind die Mitte jeder Periode von zehn Tagen; die erste Periode geht vom 26. September bis 5. Oktober inkl. usf. Unter »Phot.« sind die Mittelwerte der abgelesenen Photometerwerte, ebenfalls aus den Messungen von je zehn Tagen berechnet, angegeben; diese Zahlen

sind dem Logarithmus der Lichtstärken proportional (vgl. S. 107 f.). Die übrigen vier Kolonnen enthalten die Druckkraft in Kilogrammen gemessen; L., P. und J. sind die oben erwähnten drei Versuchspersonen, K. die ebenfalls früher besprochene Klasse von zehn 12 bis 13jährigen Schülern. In Figur 5 sind die Werte der Tabelle VIII aufgezeichnet, indem die Zeit als Abszisse abgesetzt ist. Die oberste Kurve stellt die Lichtstärke, die vier unteren die Muskelkraft der betreffenden »Versuchspersonen« dar. Außer der großen jährlichen Periode zeigt die Lichtstärke zahlreiche kleine Schwankungen; vorläufig betrachten wir ausschließlich die jährliche Periode.

Tabelle VIII.

Datum	Phot.	L.	P.	K.	J.	Datum	Phot.	L.	P.	K.	J.
Okt. 1	35,2	38,5				Mai 19	46,7	40,6	51,5	32,0	41,3
11	36,2	38,2				29	43,3	42,0	50,2	33,1	41,1
21	33,7	38,1				Juni 8	47,8	.42,7	50,3	32,7	44,8
31	31,9	37,7				18	48,6	42,8	50,4	33,0	46,4
Nov. 10	31,2	37,9				28	45,8	43,3	50,3	33,7	45,0
20	28,9	38,2				Juli 8	46,0	41,9	51,0		47,2
30	25,9	37,6				18	44,9	42,0	50,5		45,8
Dez. 10	25,6	37,0				28	49,1	41,6	53,0		43,2
20	25,4	37,3				Aug. 7	47,9	41,3	53,3		46,6
30	26,9	38,7				17	45,4	40,1	53,8	33,0	46,6
Jan. 9	24,0	37,9				27	48,1	41,3	52,7	33,7	46,5
19	27,8	38,3				Sept. 6	44,8	43,7	52,3	34,1	46,1
29	28,1	37,7	42,4	26,2		16	41,6	46,8	52,5	33,9	47,9
Febr. 8	31,5	38,9	44,2	27,6		26	41,0	45,3	50,9	34,3	49,9
18	29,7	38,9	47,8	27,8		Okt. 6	37,8	45,1	53,0	35,2	50,8
28	34,6	39,5	49,1	29,2		16	39,3	44,8	53,7	34,9	49,9
März 10	35,5	39,8	50,7	29,5		26	30,5	43,7	51,6	36,4	49,0
20	36,4	39,2	51,7	30,3		Nov. 5	29,0	43,7	51,5	37,3	48,3
30	41,4	40,5	52,1	30,5	37,2	15	32,8	44,1	52,4	36,9	48,7
Apr. 9	45,3	41,0	51,9	31,3	38,7	25	30,0	43,0	52,3	37,2	51,1
19	37,5	40,5	53,1	30,5	38,4	Dez. 5	29,1	42,5	52,6	37,0	51,5
29	43,4	40,5	52,6	31,4	42,0	15	28,3	42,0	52,1	37,2	51,7
Mai 9	47.4	40,1	55,6	31,8	42,9	25		42,0			49,2

Diese tritt in den Druckkurven der älteren Vp., L. und P., recht deutlich hervor. Die Kurve L. sinkt im Herbste bis Mitte Dezember, steigt dann wieder, erst langsam, später schneller bis Ende Juni. Im Juli und August nimmt die Muskelkraft wieder ab, um darauf im September schroff zu steigen; im Herbste nimmt sie wieder allmählich ab. Dasselbe Bild zeigt die Kurve P. Das schnelle

Ansteigen im Februar rührt, wie oben besprochen, wohl hauptsächlich von der Übung her, später geht die Kurve aber langsamer in die Höhe bis Mitte Mai, wo P. an einem typhoiden Fieber erkrankte, welches ihn so ermattete, daß seine Muskelkraft überhaupt die frühere Höhe nicht wieder erreichte. Die Senkung tritt daher früher ein, als es wohl sonst der Fall gewesen wäre; das Ansteigen tritt aus später zu besprechenden Ursachen ebenfalls

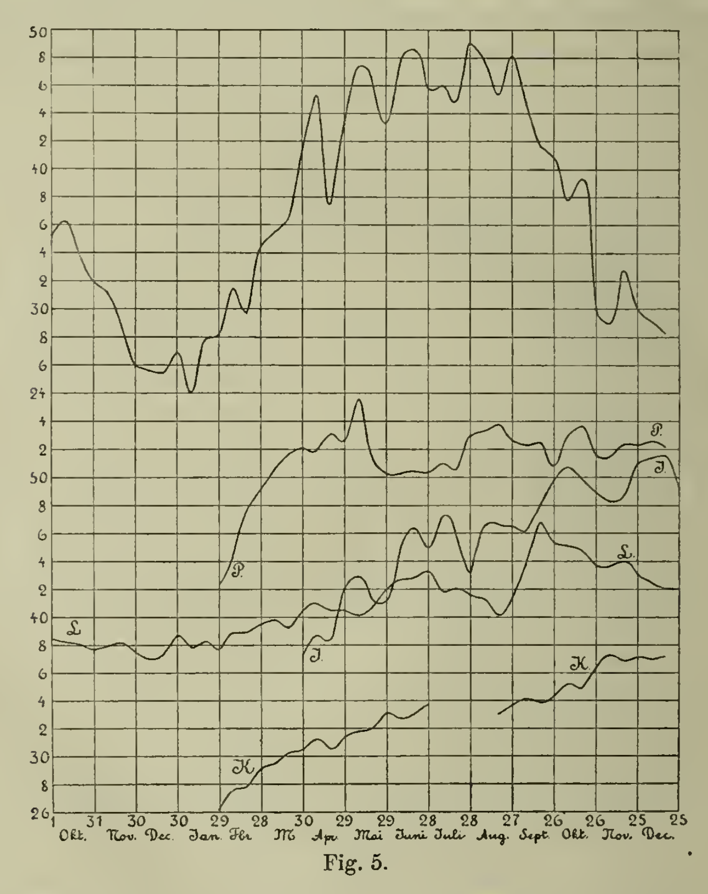


Fig. 5.

etwas früher ein und ist nicht so steil wie dasjenige der Kurve L.; die Abnahme der Muskelkraft im Herbste ist zwar weniger ausgesprochen, jedenfalls aber deutlich. Bei den jugendlichen Individuen, die noch wachsen, tritt keine Abnahme der Muskelkraft ein; wo die Kurven P. und L. dauernde Senkungen aufweisen, zeigt sich in den Kurven J. und K. nur ein Stillstand. Die Kurve J. schwankt von Mitte Juni bis Anfang September mehrmals auf und

ab, steigt aber nicht; erst im September erhebt sich die Kurve auf ein neues Niveau, wo sie dann wieder auf und ab schwankt. Die Kurve K. schließlich fängt nach den Sommerferien in derselben Höhe an, die vor den Ferien erreicht war, und von Anfang November bis Ende Dezember ist sie eine fast gerade, wagerechte Linie.

So verschieden die Kurven auch bei der ersten Betrachtung zu sein scheinen, bieten sie also tatsächlich dieselben Veränderungen dar (vgl. Fig. 14, wo nur die monatlichen Mittelwerte abgesetzt sind), die wir folgendermaßen zusammenfassen können. Im Frühjahr steigt die Muskelkraft allmählich; im Sommer tritt dann bei jugendlichen Individuen ein Stillstand, bei älteren eine Abnahme derselben ein. Im September und Oktober steigt sie dann wieder, zumeist plötzlich und stark, um darauf im Herbste und Winter, ungefähr bis Mitte Januar, entweder konstant zu bleiben (bei den jugendlichen Individuen) oder etwas abzunehmen (bei den älteren Individuen). Weshalb diese Veränderungen nun nicht zu derselben Zeit für die verschiedenen Individuen eintreffen, soll später untersucht werden; hier erheben wir zuvörderst die Frage: Sind diese in den Hauptzügen übereinstimmenden Veränderungen der Muskelkraft überhaupt von der Lichtstärke abhängig?

So viel leuchtet unmittelbar ein, daß die Veränderungen der Muskelkraft nicht durch die Lichtstärke allein verursacht sein können, da die Variationen der beiden Erscheinungen nicht genau übereinstimmen. Wäre die Lichtstärke die einzige Ursache einer jährlichen, periodischen Variation, würde die Steigerung der Muskelkraft, aller Wahrscheinlichkeit nach, nicht nur den Sommer hindurch, sondern noch etwas länger andauern, indem die vom Lichte verursachten chemischen Veränderungen nicht sofort verschwinden können, wenn die Lichtstärke abzunehmen anfängt. Nun sehen wir aber, daß die Muskelkraft gar nicht im Sommer wächst, daß dagegen eine neue Periode des Wachstums im September und Oktober eintritt, nachdem die Lichtstärke schon entschieden abzunehmen angefangen hat. Diese Sonderbarkeit ließe sich leicht unter der Voraussetsung erklären, daß es einen zweiten Faktor gäbe, der besonders im Sommer auf die Muskelkraft nachteilig wirkte und im Herbste wieder verschwände. Eine solche Erscheinung kennen wir aber. Die Wärme erreicht ihr Maximum in den Monaten Juni bis August, nimmt im Herbste

wieder ab, und ist nach alltäglicher Erfahrung weder der körperlichen noch der seelischen Arbeitsfähigkeit besonders günstig. Es wird daher unsere nächste Aufgabe sein, zu untersuchen, ob die Wärme tatsächlich einen solchen Einfluß ausübt, und speziell, ob das Ansteigen der Muskelkraft im Herbste zeitlich stets mit einem Sinken der Temperatur einhergeht.

Ehe wir hierzu übergehen, erübrigt nur noch zu untersuchen, ob die kleineren unregelmäßigen Schwankungen der Lichtstärke auf die Muskelkraft einen nachweisbaren Einfluß auszuüben vermögen. Die Figur 5 zeigt, daß dies durchgängig nicht der Fall ist. Es finden sich zwar dann und wann Übereinstimmungen zwischen den Druckkurven und den Variationen der Lichtstärke; viel häufiger aber gehen die Schwankungen in entgegengesetzten Richtungen. Eine Ausnahme bildet nur die Kurve J., vom Anfang April bis Mitte Juli, wo die Erhebungen und Senkungen mit denjenigen der Lichtstärke völlig übereinstimmen. Es handelt sich hier aber um eine weibliche Vp., an deren geistige Leistungsfähigkeit wegen der bevorstehenden Prüfung eben die höchsten Anforderungen gestellt wurden. Die Abhängigkeit der Muskelkraft von den unregelmäßigen Variationen der Lichtstärke scheint also durch eine gewisse Erschöpfung bedingt zu sein, eine Annahme, die durch den Umstand noch wahrscheinlicher wird, daß die partiellen Minima während der erwähnten Periode häufig in der Nähe der Menses liegen.

7) Abhängigkeit der Muskelkraft von der Temperatur.

Schon mittels seiner ersten, im Jahre 1904—1905 einmal wöchentlich angestellten Messungen konnte Pedersen den Nachweis liefern, daß die keineswegs drückende Sommertemperatur Kopenhagens einen hemmenden Einfluß auf die Muskelkraft ausübt. Um die Darstellung nicht mit großen, wenig übersichtlichen Zahlenreihen zu belasten, geben wir hier nur eine graphische Darstellung dieser Messungen. In Figur 6 sind die drei oberen Kurven die Druckkurven der untersuchten Schulklassen; jede Kurve ist mit dem Alter (10—11, 11—12 und 13—14) der betreffenden Schüler bezeichnet. Die gemessenen Punkte der Kurven sind durch kleine Zirkel angegeben. Die unterste Kurve T stellt die Temperatur dar. Die an der landwirtschaftlichen Hochschule

zu Kopenhagen täglich gemessenen Maximaltemperaturen sind je sieben zu Mittelwerten vereinigt; an dem Tage, wo die Messung der jüngsten der drei Klassen stattfand, ist der Mittelwert der Temperatur der vorhergehenden sieben Tage abgesetzt.

Aus der Figur 6 ist leicht ersichtlich, daß eine hohe Temperatur die Druckkraft herabsetzt. Anfangs, im Juni, steigt die Muskelkraft aller Klassen mit sinkender Temperatur. Dieses erste Ansteigen kann zwar teilweise eine Wirkung der Übung sein; daß einer solchen sporadischen Übung wie vier Drucke wöchentlich



Fig. 6.

keine große Wirkung zugeschrieben werden darf, geht aber deutlich aus der Figur 4 hervor. Jedenfalls kann die Übung nicht daran Schuld sein, daß die Druckkurven Ende Juni mit steigender Temperatur wieder sinken. Nach den Sommerferien sinken die Druckkurven mit steigender Temperatur, und dies Sinken dauert noch einige Zeit fort, nachdem die Temperatur ihr Maximum erreicht hat. Dann geht mit einer starken Abnahme der Temperatur, vom 21. September bis 16. Oktober, eine plötzliche und steile Erhebung aller drei Druckkurven einher. Eine Vergleichung der Figur 6 mit der Figur 5 zeigt, daß dieses Wachstum

der Muskelkraft der Schüler in den beiden verschiedenen Jahren fast gleichzeitig eintrifft. Von Mitte Oktober an wird die Muskelkraft der beiden jüngeren Klassen, trotz abnehmender Temperatur, fast konstant; nur die älteste Klasse steigt noch bis Mitte November. Dies stimmt auch mit der Figur 5, wo die Muskelkraft der ungefähr gleichaltrigen Klasse bis Mitte November wächst. Den ganzen Winter hindurch schwankt nun die Temperatur zwischen 0° und 5° auf und ab; trotzdem tritt aber gegen Ende Januar ein allmähliches und keineswegs unbedeutendes Steigen der Muskelkraft ein.

Die letzterwähnte Tatsache ist sehr interessant; daraus geht nämlich hervor, daß die Temperatur, ebensowenig wie die Lichtstärke, allein die jährlichen periodischen Variationen der Muskelkraft verursachen kann. Ehe wir aber die Notwendigkeit der beiden Faktoren darzulegen suchen, soll erst die Beziehung der Muskelkraft zur Temperatur näher nachgewiesen werden. Fangen wir mit den Schulversuchen an, so können wir die zur Verfügung stehenden Messungen der fünf Klassen zu einer Jahreskurve der Muskelkraft zusammenziehen, wodurch die meisten Zufälligkeiten wohl als ausgeglichen angesehen werden können. Da die Versuche zu verschiedenen Zeiten anfingen, außerdem nicht dieselbe Dauer und Genauigkeit haben, indem einige wöchentlich, andere täglich angestellt sind, und schließlich von verschiedenen Altersstufen herrühren, können wir weder monatliche Mittelwerte noch Medianwerte berechnen. Das Wachstum der Muskelkraft im Laufe eines Jahres läßt sich aber dennoch bestimmen, wenn wir die gemessenen Werte einfach als Verhältniszahlen betrachten. Da bei sämtlichen fünf Versuchsreihen Messungen im Januar angestellt wurden, können wir den Mittelwert für den Januar in jeder Versuchsreihe gleich 100 setzen, und mittels der Messungsresultate die proportionalen Werte der vorhergehenden oder folgenden Monate berechnen. Das Verfahren ist aus Tabelle IX leicht ersichtlich. In den Kolonnen K. sind für jede Klasse die aus den Messungen berechneten mittleren monatlichen Druckwerte in Kilo aufgeführt. In den Kolonnen »Pr.-Z.« ist überall für den Januar 100 gesetzt, und aus den Werten K. ergeben sich dann einfach die proportionalen Werte der übrigen Monate. Da die Prozentzahlen der verschiedenen Versuchsreihen für jeden Monat recht gut übereinstimmen, können wir ohne Bedenken hieraus Mittelwerte berechnen; diese mittleren monatlichen Prozentzahlen sind in der Kolonne »m. Pr.-Z.« angeführt.

Durch einen glücklichen Zufall gehen die Werte der drei Wintermonate, Januar bis März, aus fünf Versuchsreihen hervor, so daß dieser kritische Punkt besonders genau bestimmt wird. Um die

Tabelle IX.

Monat	1904—1905 10—11jähr.		1904—1905 11—12jähr.		1904—1905 13—14jähr.		1904 12—13jähr.		1906 12—13jähr.		m. Pr.-Z.	T	L
	K.	Pr.-Z.	K.	Pr.-Z.	K.	Pr.-Z.	K.	Pr.-Z.	K.	Pr.-Z.			
5. Mai	19,6	73,7									73,7	10,2	45,8
6. Juni	21,0	78,9	24,2	82,4	27,0	79,6					80,3	14,5	47,4
7. Juli												16,1	46,7
8. Aug.	22,8	85,7	25,7	88,0	28,6	84,3					86,0	15,7	47,1
9. Sept.	22,0	82,7	25,8	88,3	27,9	82,2					84,4	12,8	42,5
10. Okt.	25,6	91,2	29,5	100,9	31,8	93,8					95,3	8,0	34,3
11. Nov.	26,5	99,6	29,6	101,3	33,9	100					100,3	3,7	28,7
12. Dez.	26,6	100	29,8	102,1	33,9	100					100,7	0,8	26,0
1. Jan.	26,6	100	29,2	100	33,9	100	22,7	100	25,9	100	100	—0,1	26,6
2. Febr.	27,6	103,8	29,6	101,4	35,2	103,8	23,0	101,3	27,9	107,7	103,6	0,0	31,9
3. März	28,2	106,0	31,2	106,8	36,6	108,0	25,6	112,7	29,8	115,0	109,7	1,2	37,8
4. April							25,4	111,9	31,0	119,6	115,8	5,7	41,7
5. Mai									32,1	124,0	124,0	10,2	45,8
6. Juni									33,1	127,7	127,7	14,5	47,4
7. Juli												16,1	46,7
8. Aug.									33,5	129,3	129,3	15,7	47,1
9. Sept.									34,1	131,6	131,6	12,8	42,5
10. Okt.									35,5	137,0	137,0	8,0	35,9
11. Nov.									37,2	143,5	143,5	3,7	30,6
12. Dez.									37,1	143,2	143,2	0,8	28,7

Beziehung der Muskelkraft zur Temperatur und zur Lichtstärke zu beleuchten, sind schließlich in der Kolonne T die mittlere monatliche Temperatur Dänemarks und in der Kolonne L die monatlichen Mittelwerte unserer Messungen der Lichtstärke angegeben[1].

Die drei letzterwähnten Werte sind in Figur 7 graphisch dargestellt; die Abszissen sind die Monate, M stellt die Muskelkraft, T und L die Temperatur bzw. die Lichtstärke dar. Die unterste Kurve, *Ass*, geht uns vorläufig nichts an. Man sieht aus der

1) Da unsere Messungen der Lichtstärke, wie oben (S. 108 f.) angeführt, teils in Kopenhagen, teils in Bessheim und außerdem an Orten, wo das Photometer nicht dem vollen Sonnenschein ausgesetzt war, angestellt sind, können sie keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen. Wir haben sie daher mit den im botanischen Garten der Universität Kopenhagen im Jahre

Figur deutlich, daß die Muskelkraft schon im Januar mit der Lichtstärke zu steigen anfängt, und im Februar und März einen beträchtlichen Zuwachs erreicht hat, während die Temperatur fast

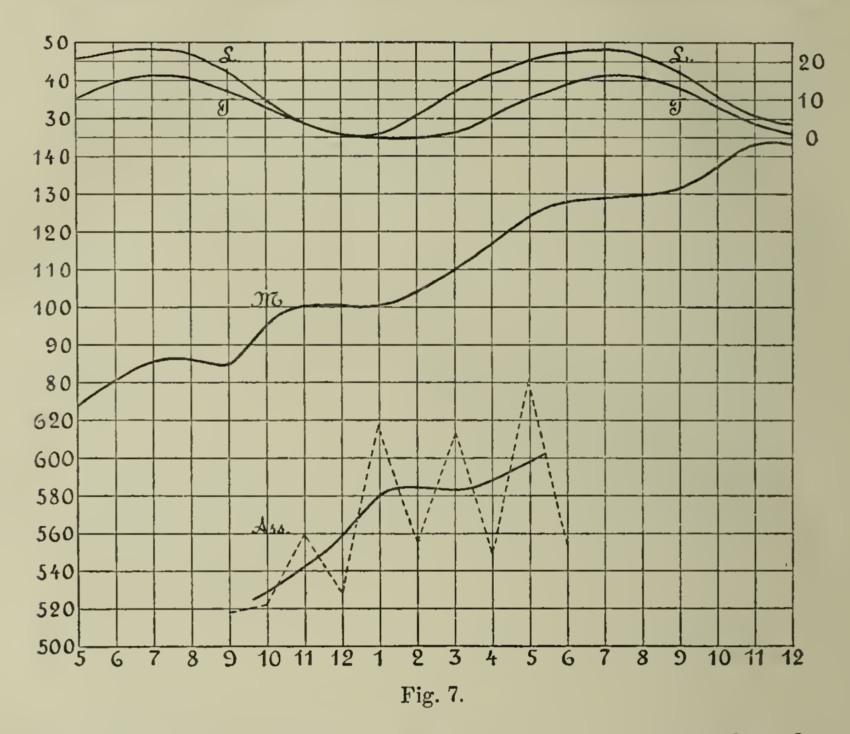


Fig. 7.

konstant und viel niedriger als diejenige ist, bei welcher das Wachsen der Muskelkraft im November aufhörte. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß das Licht und nicht die Wärme

---

1903—1904 angestellten Messungen verglichen. In der Tabelle X sind die Werte der beiden Reihen zusammengestellt; die Reihe L. und P. enthält die unsrigen, die Reihe B. G. diejenigen des botanischen Gartens. Sämtliche Zahlen sind monatliche Mittelwerte der täglich angestellten Messungen. Die Werte des botanischen Gartens sind durchgängig bedeutend größer als die

Tabelle X.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
L. u. P.	26,6	31,9	37,8	41,7	45,8	47,4	46,7	47,1	42,5	35,9	30,6	28,7
B. G.	30	36	43	46	51	53	52	51	46	41	37	28
B. G. red.	26,8	32,2	38,5	41,1	45,6	47,4	46,5	45,6	41,1	36,7	33,1	25,0
Differenz	— 0,2	— 0,3	— 0,7	+ 0,6	+ 0,2	0	+ 0,2	+ 1,5	+ 1,4	— 0,8	— 2,5	+ 3,7

hier die wirkende Kraft ist. In den Sommermonaten aber verhält es sich aller Wahrscheinlichkeit nach umgekehrt. Die Muskelkraft wächst nämlich, wie aus der Figur ersichtlich, noch im Mai, wo die Lichtstärke ihr Maximum erreicht hat, im Juni aber, und besonders im Juli und August, wo die Wärme ihr Maximum erreicht, hört das Wachsen der Muskelkraft vollständig auf, um wieder im September anzufangen, sobald die Wärme nachläßt. Die Sommerwärme übt also hiernach einen direkten, hemmenden Einfluß auf die Muskelkraft aus, während das Licht gleich nach der Sonnenwende im Winter seinen fördernden Einfluß zeigt.

Tabelle XI.

	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
Kilo	38,0	38,0	37,5	37,8	39,0	39,7
T	6,3	4,5	2,2	1,5	0,9	1,9
L	34,3	28,7	26,0	26,6	31,9	37,8

Ganz dasselbe Resultat geht aus unseren individuellen Messungen hervor. Die von der Vp. L. herrührende Versuchsreihe erstreckt sich über den Winter 1905—1906, und da diese Messungen im Mai 1905 anfingen, kann von einer Wirkung der Übung im Winter keine Rede mehr sein. In Tabelle XI sind in der Reihe Kilo die mittleren Werte der sechs Wintermonate angeführt. T sind die

---

unserigen, was selbstverständlich ist, weil das Photometer dort von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang der direkten Strahlung ausgesetzt war; sonderbar ist es aber, daß die beiden Reihen in einem konstanten Verhältnis stehen. Reduzieren wir nämlich die Zahlen des botanischen Gartens so, daß der im Juni gefundene Maximalwert 53 gleich unserem Maximalwert 47,4 gesetzt wird, und die übrigen Zahlen in demselben Verhältnis, so erhalten wir die Werte der Reihe »B. G. red.«. Die Differenzen zwischen diesen Werten und den unsrigen finden sich in der Reihe »Differenz«. Diese Differenzen sind bald positiv, bald negativ, so daß unsere Zahlen also sonst nicht mit konstanten Fehlern behaftet sind. Übrigens sind die Differenzen viel kleiner, als überhaupt zu erwarten stand; die Messungen sind ja in verschiedenen Jahren ausgeführt, und die Klarheit des Himmels, von welcher die gemessene Lichtstärke größtenteils abhängig ist, kann wie bekannt äußerst variabel sein.

Aus diesen übereinstimmenden Zahlen ist die bemerkenswerte, übrigens im voraus bekannte Tatsache zu ersehen, daß die Lichtstärke im Mai fast ihr Maximum erreicht hat, während die Temperatur (vgl. Tabelle IX) noch lange nicht so groß geworden ist. Eine für unsere Untersuchungen wesentliche Schlußfolgerung wird hieraus im folgenden gezogen werden.

monatlichen Mittelwerte der Außentemperatur, um 9 Uhr morgens abgelesen, und L die Lichtstärke nach unseren Messungen (vgl. Tabelle IX). Die Tabelle XI zeigt genau dasselbe wie die Tabelle IX, nämlich daß die Muskelkraft mit dem Lichte im Januar zu steigen anfängt, und im Februar und März bedeutend größer als im Oktober ist, während die Temperatur vom Januar bis März fast konstant bleibt und viel niedriger als diejenige des Oktobers ist.

Die Beziehung der Muskelkraft zur Sommertemperatur läßt sich auf ähnliche Weise darlegen; wir wollen hier aber einen anderen Weg einschlagen. Wie schon oben bemerkt, bestimmten wir seit Anfang Juni 1906 die Minimumtemperatur unserer Schlafzimmer, und fanden so eine Temperaturgröße, deren Bedeutung für das betreffende Individuum keinem Zweifel unterliegen kann. Da nun ferner diese Temperatur in Bessheim im Juli und August viel niedriger war, als sie zu derselben Zeit in Kopenhagen sein würde, mehrmals sogar niedriger, als sie in Kopenhagen im Dezember gefunden wurde, so leuchtet ein, daß die hieraus berechneten monatlichen Mittelwerte gar nicht als Sommertemperaturen gelten können. Unter diesen Verhältnissen müssen wir andere Wege einschlagen, z. B. die Muskelkraft direkt als eine Funktion der Temperatur bestimmen, so wie es beispielsweise oben in Tabelle II dargelegt wurde. Wir berechnen also ohne Berücksichtigung der Zeit die Mittelwerte der Messungen, die bei einer bestimmten Temperatur ausgeführt wurden. Diese Mittelwerte sind für die Vp. P. und L. in Tabelle XII unter y wiedergegeben; n st die Anzahl Werte, aus welcher die mittleren Werte berechnet sind, T die Temperatur. Obschon wir auch für die Vp. J. das nötige Material zu einer solchen Bestimmung besitzen, wurde dasselbe nicht in die Tabelle XII aufgenommen, weil sich hier ein störendes Moment, das Wachstum, geltend macht. Aus der Figur 5 ist nämlich ersichtlich, daß die Muskelkraft dieser Vp. fortwährend wächst, nachdem im September die Temperatur zu sinken angefangen hat. Ohne Berechnungen anzustellen, sieht man daher unmittelbar ein, wie eine Bearbeitung der Messungen vom Juni bis Dezember nur das Resultat ergeben kann, daß die Muskelkraft mit sinkender Temperatur steigt. Hieraus dürfen wir aber gar nicht folgern, daß eine niedrige Temperatur der Muskelkraft des betreffenden Individuums besonders günstig sei, weil eben ein uneliminierbarer fremder Faktor, das körperliche Wachstum der jugendlichen Vp., die wahre Sachlage verschleiert.

Diese Messungen sind also für die vorliegenden Zwecke unbrauchbar.

In Tabelle XII sind außer den Werten y und n auch die unter Berücksichtigung der Gewichte n ausgeglichenen Funktionswerte (y) und die Anzahl Messungen (n), aus welchen die ausgeglichenen Funktionswerte hervorgehen, angeführt. In Figur 8 sind sowohl y als (y) als Ordinaten, die Temperatur als Abszisse abgesetzt. Die gebrochenen, punktierten Linien verbinden die Werte y, während die vollgezeichneten Kurven durch die Werte (y) gelegt sind.

Tabelle XII.

T	P. 1906. 17. Juni bis 21. Dez.				L. 1906. 17. Juni bis 23. Dez.			
	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)
4	52,10	1						
5	50.70	1	51,48	4				
6	52.40	1	51,01	8				
7	50,52	5	51,34	18	41,50	4		
8	52.36	7	51,94	29	41,53	3	41,35	18
9	52,07	10	52,20	45	41,13	8	41,56	28
10	52,31	18	52,17	64	42,36	9	41,88	41
11	51,92	18	51,96	69	41,69	15	42,04	57
12	51,59	15	51,80	62	42,46	18	42,30	71
13	52,12	14	51,94	61	42,45	20	42,81	79
14	51,97	18	52,22	57	43,77	21	43,48	84
15	53,76	7	52,51	49	43,85	22	43,89	87
16	52,06	17	52.40	55	44,10	22	44,07	84
17	52,60	14	52.29	59	44,21	18	44,20	65
18	52,01	14	52,20	44	44,23	7	43,96	40
19	52.30	2	52,04	23	42,93	8	43,18	30
20	51,90	5	51.49	20	42,71	7	42,77	25
21	50,78	8	51.15	22	42,60	3	42,51	14
22	53,30	1	51,41	12	40.80	1	41,87	6
23	52,05	2			41,80	1		

Die Kurven zeigen deutlich, wie die Muskelkraft ein individuell verschiedenes Optimum hat, innerhalb einer mittleren Temperaturstrecke am größten ist, und sowohl bei höheren als bei niedrigeren Temperaturen sinkt. Die Kurve P. erweist zwar bei den höchsten und niedrigsten Temperaturen eine Tendenz wieder zu steigen, aus der Tabelle XII ist aber ersichtlich, daß die betreffenden Punkte der Kurve nur von ganz isolierten Werten herrühren, so daß sie eigentlich nur als Zufälligkeiten angesehen werden können.

Die Messungen der Vp. J. haben wir nach einer anderen Methode bearbeitet, die übrigens auch auf die eben besprochenen Versuchsreihen P. und L. in Anwendung gebracht sein könnte; wenn wir aber, je nach der Beschaffenheit des Versuchsmaterials, verschiedene Methoden anwenden, und diese dennoch zu denselben Ergebnissen führen, werden unsere Resultate dadurch nur um so sicherer. Da, wie schon oben auseinandergesetzt, die monatlichen Mittelwerte in dem vorliegenden Falle unbrauchbar sind, haben wir aus den Messungen von je fünf Tagen die Mittelwerte sowohl der Temperatur als die der Muskelkraft berechnet. Diese Mittelwerte zeigen noch

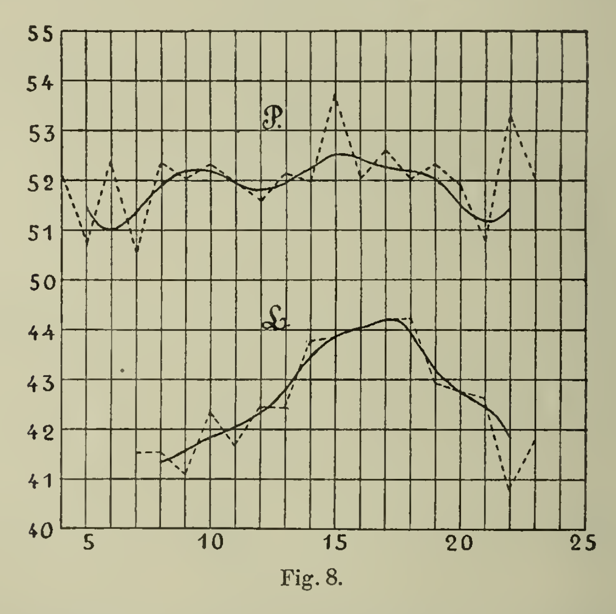


Fig. 8.

einige, übrigens nicht große, unregelmäßige Schwankungen, weshalb wir sie nach Gleich. 4 ausgeglichen haben. Die resultierenden Werte geben wir hier nicht tabellarisch wieder, weil die lange Reihe von Zahlen durchaus keinen Überblick gewährt. In Figur 9 sind sie graphisch dargestellt, indem die Zeit als Abszisse, die Temperatur und die Muskelkraft als Ordinaten in der Mitte jeder Periode von fünf Tagen abgesetzt sind; T ist die Temperaturkurve, M die Kurve der Muskelkraft. Aus der Figur ersieht man leicht, daß die Veränderungen der Muskelkraft nicht sofort mit den Variationen der Temperatur eintreten, sondern erst einige Tage später. Ferner geht hervor, daß die Muskelkraft steigt: teils mit sinkender Temperatur, wenn dieselbe über 15° ist, teils mit

steigender Temperatur, wenn sie unter 12° ist. Umgekehrt sinkt die Muskelkraft: mit steigender Temperatur, wenn sie sich über 15° erhebt, und mit sinkender Temperatur, wenn sie unter 12° fällt. Dies alles kann mit andern Worten kürzer so ausgedrückt werden: die Temperatur hat ein Optimum zwischen 12° und 15°; die Muskelkraft steigt, wenn die Temperatur sich dem Optimum nähert, und die Muskelkraft sinkt, wenn die Temperatur sich von dem Optimum entfernt. Es findet sich indes eine Ausnahme von dem letzteren Satze. Um den 2. November sinkt die Muskelkraft, indem die Temperatur sich dem Optimum nähert, und unmittelbar darauf (12. November bis 2. Dezember) steigt die Muskelkraft stark, während die Temperatur unter 10° herabgeht. Das Optimum scheint

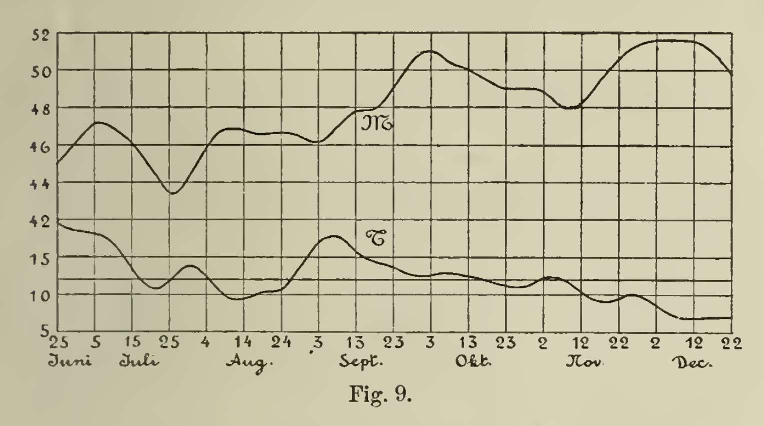


Fig. 9.

sich also nach unten verschoben zu haben, was wohl davon herrührt, daß die Vp. in den vorhergehenden sechs Wochen sich an einen relativ geringen Wärmegrad angewöhnt hatte. Daß sie übrigens gegen die Temperatur durchaus nicht indifferent geworden ist, zeigen die Messungen am Ende des Jahres, wo ein neues Sinken der Temperatur eine bedeutende Abnahme der Muskelkraft verursacht.

Unsere Resultate, den Einfluß der Lichtstärke und der Temperatur betreffend, können wir jetzt folgendermaßen zusammenfassen: *Die aktinischen Strahlen des Sonnenlichtes fördern die Muskelkraft um so mehr, je stärker die Strahlung ist. Die Wärme dagegen hat ein individuell verschiedenes und vielleicht auch etwas verschiebbares Optimum, so daß sowohl höhere als niedrigere Temperaturen die Muskelkraft hemmen. Durch das Zusammenwirken dieser beiden Faktoren entsteht die jährliche periodische Variation*

der Muskelkraft. Im Januar beginnt sie trotz der niedrigen Temperatur mit der Lichtstärke zu steigen, und dies Wachstum dauert an, bis die hohe Temperatur der Sommermonate Juni-August einen Stillstand verursacht. Mit dem Temperatursinken im September fängt das Steigen der Muskelkraft wieder an; Anfang November tritt dann schließlich wegen der geringen Lichtstärke und Temperatur wieder ein Stillstand oder gar eine Abnahme der Muskelkraft ein.

Die individuell verschiedenen Schwankungen der Muskelkraft, wie aus Figur 5 ersichtlich, sind teils durch die verschiedenen Temperaturen, denen die Vp. ausgesetzt waren, teils durch die individuelle Lage des Temperaturoptimums erklärlich. Es soll dies näher dargelegt werden, wenn wir den Einfluß des Luftdruckes auf die Muskelkraft untersucht haben.

8) Abhängigkeit der Muskelkraft von dem Luftdrucke.

Die täglichen Schwankungen am Wohnorte. Schon 1904 gelang es Pedersen mittels der Messungen der ersten vier Monate die Abhängigkeit der Muskelarbeit vom Luftdrucke außer Zweifel zu stellen. Die barometrischen Verhältnisse waren damals einem solchen Nachweis außerordentlich günstig, indem nur wenige, aber große und andauernde Luftdruckvariationen stattfanden. Die Resultate sind in der Fig. 10 a wiedergegeben. Die Kurve *M* stellt die Muskelkraft dar; die bei den wöchentlichen Messungen tatsächlich gefundenen Punkte sind durch Zirkel angegeben. *Ls* ist die Lichtstärke, aus den Messungen des botanischen Gartens der Universität berechnet; *L* der Luftdruck nach den Be-

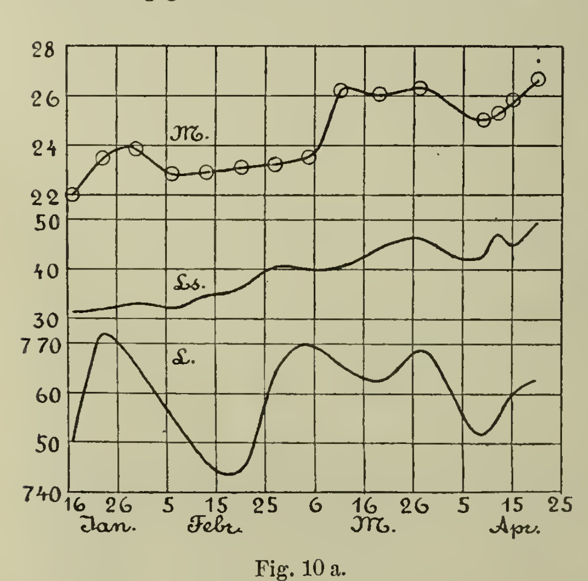


Fig. 10 a.

obachtungen des meteorologischen Institutes. Die beiden letzteren Kurven sind auf die Weise bestimmt, daß an jedem Tage, wo die Muskelkraft gemessen wurde, die mittleren Werte der vorhergehenden Woche abgesetzt sind. Wie man aus der Figur ersieht, steigt die Muskelkraft langsam mit der Lichtstärke, während die kleineren Schwankungen dem Luftdrucke folgen; nur nach dem großen Minimum, das sich über den ganzen Februar erstreckt, dauert es zehn Tage, bis die Muskelkraft sich zu erheben anfängt. Eine Beziehung der Muskelkraft zum Luftdrucke kann aber durch diesen Umstand nicht zweifelhaft werden. Vermag der Luftdruck nämlich auf den Organismus so einzuwirken, daß die Muskelkraft durch einen geringen Luftdruck herabgesetzt wird, so wird, aller Wahrscheinlichkeit nach, auch eine geraume Zeit verstreichen, bis die Wirkung eines großen Minimums von ungewöhnlicher Dauer aufgehoben wird. Jedenfalls haben unsere späteren Messungen das hier unmittelbar und anschaulich hervortretende Resultat auf sehr interessante Weise bestätigt.

So große und regelmäßige Luftdruckvariationen, wie die der Figur 10a, sind recht selten, und durch die Übereinstimmung der

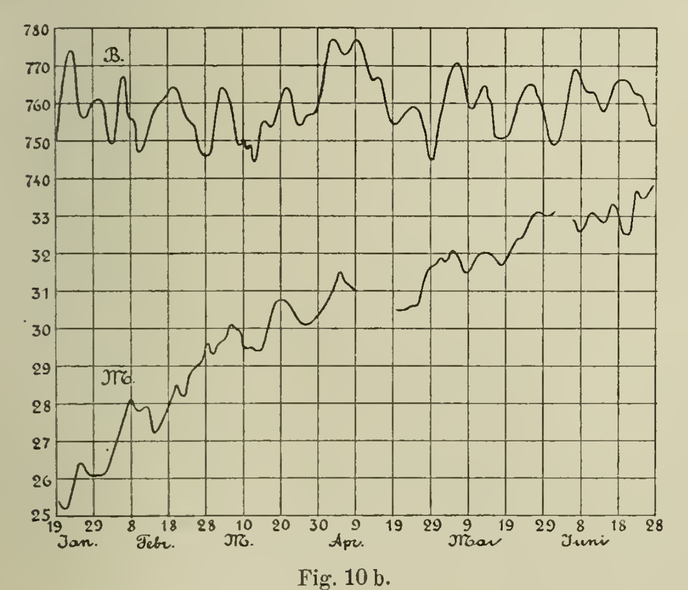


Fig. 10 b.

Kurven läßt sich daher die Beziehung der beiden Erscheinungen meistens nicht nachweisen. Ein typisches Beispiel dieser Art ist in Figur 10b wiedergegeben, wo *B* den Barometerstand, *M* die

Muskelkraft darstellt. Die zugrunde liegenden Messungen sind die der Knaben im Frühjahr 1906; diese Werte sind einmal, die Barometerstände dagegen zweimal nach der Gleich. 4 ausgeglichen, um übersichtliche Kurven zu ergeben. Da die Übereinstimmung dieser Kurven wegen der zahlreichen, kurzdauernden Schwankungen des Luftdruckes zweifelhaft ist, wird es hier notwendig, zu untersuchen, ob überhaupt eine Beziehung zwischen dem Luftdrucke und der Muskelkraft besteht. Wie schon oben (S. 118) angegeben, erreicht man dies, indem man die Muskelkraft als Funktion des Luftdruckes berechnet. Auf diese Weise haben wir die täglichen Messungen der Jahre 1905/06 bearbeitet, nur das während der Sommerferien in Bessheim erhaltene Material wurde ausgeschaltet, weil der dort herrschende Normalluftdruck (675 mm) zu sehr von demjenigen Kopenhagens (760 mm) abweicht, um eine Vermengung der unter diesen Umständen gefundenen Größen zu erlauben. Ferner haben wir das Material aus Ursachen, die sogleich im folgenden einleuchten werden, in eine Frühlings- und eine Herbstreihe geteilt; die erstere umfaßt die Zeit vom Anfang Januar bis zu den Sommerferien, die letztere fängt nach den Sommerferien an und geht bis Ende des Jahres. Die beiden Reihen sind in der Tabelle XIII, wo das ganze Material zusammengestellt ist, mit a bzw. b bezeichnet. Die Tabelle enthält für jede der vier Vp. L., P., K. und J. eine a- und eine b-Reihe und außerdem für die Vp. L. die beiden nämlichen Reihen des Jahres 1905. Die beobachteten Barometerstände sind in Gruppen von fünf Millimeter Gruppenlänge geteilt; in der ersten Kolonne links ist die Mitte jeder dieser Gruppen angegeben. Unter y sind die Mittelwerte der in jeder Gruppe liegenden Messungen der Muskelkraft, und unter n die Anzahl dieser Messungen angeführt; (y) und (n) sind wie gewöhnlich die ausgeglichenen Werte des y und des n.

Die a-Reihen der Tabelle XIII sind in Figur 11, die b-Reihen in Figur 12 graphisch dargestellt. In beiden Figuren sind die Werte y mittels punktierter Geraden verbunden, während durch die Werte (y) vollgezeichnete Kurven gelegt sind. Wir betrachten nun zuerst die Figur 11. Das schon aus der Figur 10a zu ersehende Gesetz, daß die Muskelkraft mit dem Luftdruck auf- und abschwankt, tritt in allen fünf Kurven deutlich hervor. Die drei Kurven P., L. 1906 und K., die aus dem größten Versuchsmaterial hervorgegangen sind, zeigen übereinstimmend, daß die Muskelkraft

Tabelle XIII.

a	L. 1905. 18./4.—19./7.				L. 1906. 25./12.05.—12./7.				P. 1906. 24./1.—7./7.				K. 1906. 19./1.—26./6.				J. 1906. 28./3.—7./7.			
	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)
735 mm					38,90	2			50,20	1										
740					38,77	6	39,09	22	47,20	5	48,11	17	28,06	5						
745	31,60	1			39,63	8	39,91	49	49,27	6	49,25	38	30,47	3	30,00	25	41,80	2		
750	33,18	10	33,30	41	40,34	27	40,03	94	49,72	21	49,87	75	30,59	14	30,30	52	40,96	11	41,52	39
755	33,51	20	33,70	81	39,64	32	39,92	136	50,23	27	49,97	113	30,02	21	30,26	77	42,29	15	41,90	63
760	34,10	31	33,96	101	40,07	45	40,22	169	49,71	38	49,96	139	30,57	21	30,56	85	41,83	22	42,39	84
765	33,99	19	33,97	79	40,92	47	40,65	158	50,27	36	50,32	127	31,04	22	30,91	75	43,42	25	42,98	85
770	33,46	10	33,70	40	40,71	19	40,74	93	51,91	17	50,97	75	31,03	10	30,73	51	43,19	13	42,55	59
775	33,80	1			39,80	8	40,30	41	49,66	5	51,08	31	29,29	9			37,78	8		
780					40,30	6			51,10	4										

b	L. 1905. 29./8.—24./12.				L. 1906. 31./8.—24./12.				P. 1906. 10./8.—21./12.				K. 1906. 12./8.—21./12.				J. 1906. 31./8.—20./12.			
	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)	y	n	(y)	(n)
735 mm	38,80	1			42,67	3			53,10	2							51,62	6		
740	39,00	3	38,64	13	42,40	6	42,91	25	52,47	6	52,41	22	37,18	5			51,17	10	50,70	36
745	38,27	6	38,52	31	43,60	10	43,41	40	52,23	8	52.22	40	36,85	8	36,86	30	49,30	10	49,77	50
750	38,57	16	38,48	56	43,57	14	43,80	54	52,15	18	52,25	70	36,69	9	36,09	45	49,54	20	49,38	65
755	38,45	18	38,34	72	44,39	16	44,19	68	52,41	26	52,44	95	35,19	19	35,25	66	48,95	15	49,24	70
760	37,97	20	38,04	85	44,29	22	44,19	82	52,71	25	52,40	103	34,73	19	34,91	78	49,40	20	49,20	74
765	37,90	27	37,88	92	43,82	22	44,10	82	51,90	27	52,15	95	34,92	21	35,05	76	49,00	19	49,02	65
770	37,73	18	37,82	70	44,69	16	44,27	59	52,08	16	52,00	62	35,80	15	35.42	54	48,47	7	48,80	35
775	38,00	7	37,77	34	43,56	5	44,14	28	52,40	3	52,09	24	35,17	3	35,79	23	49,70	2		
780	36,60	2			42,70	2			51,10	2			37,55	2						

beim Normalluftdruck fast konstant ist, bei höherem Luftdruck aber steigt und bei geringerem sinkt. Die beiden anderen Kurven, die nur aus den Beobachtungen der drei Frühlingsmonate berechnet sind, zeigen ein dem Luftdruck fast proportionales Ansteigen. Die den meisten Kurven gemeinsame, kleine Senkung bei den höchsten Luftdrucken soll sogleich besprochen werden.

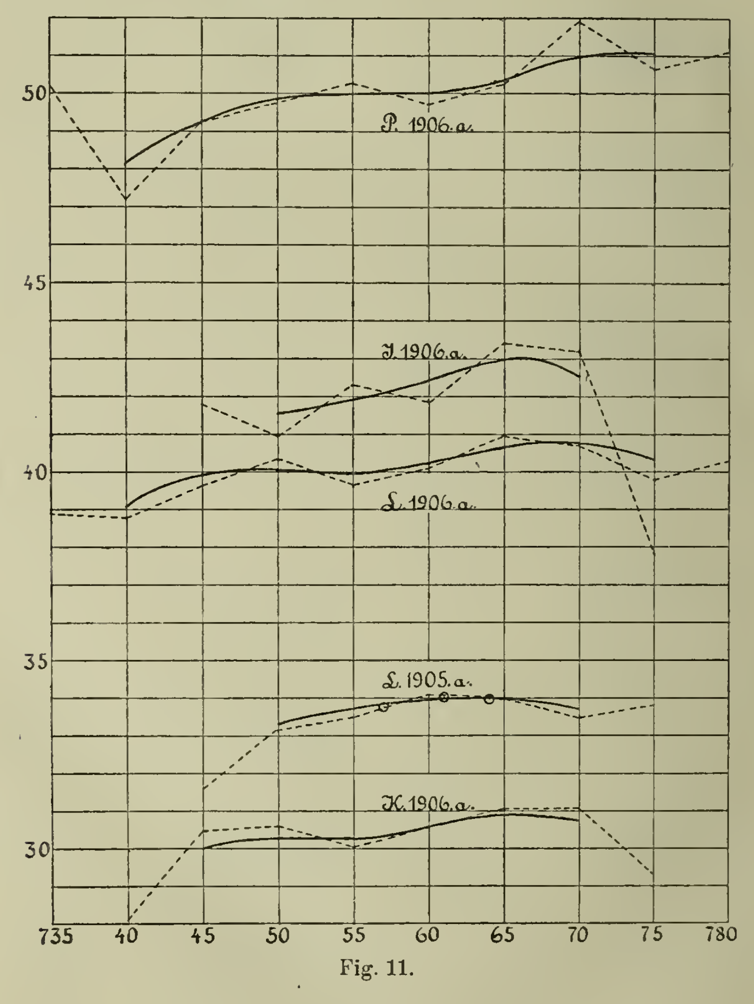


Fig. 11.

Das in den Kurven hervortretende Gesetz ist eine Tatsache; aus dieser Tatsache darf aber keineswegs gefolgert werden, daß der Luftdruck wirklich einen Einfluß auf die Muskelkraft ausübt. Wir wissen ja nämlich, daß die Muskelkraft das Frühlingshalbjahr hindurch aus anderen Ursachen allmählich wächst. Es kann

also die gefundene Beziehung zwischen Muskelkraft und Luftdruck eine Täuschung sein, die einfach dadurch zustande gekommen ist, daß auch der Luftdruck während der Versuchszeit wächst. Dies ist denn tatsächlich auch der Fall; die monatlichen Mittelwerte des Luftdruckes in der ersten Hälte des Jahres 1906 stellen sich folgendermaßen: Januar 759,9, Februar 756,8, März 756,9, April 762,9, Mai 759,4 und Juni 761,8. Da im letzten Vierteljahre, wo die Muskelkraft am größten ist, auch der Luftdruck bedeutend größer als im ersten Vierteljahre ist, kann dies zufällige Zusammentreffen von hohem Luftdruck mit großer Muskelkraft die in Figur 11 hervortretende Beziehung verursacht haben. Es wird daher notwendig, die oben (S. 123) dargestellte Methode hier anzuwenden. Um die Berechnungen möglichst einfach und übersichtlich durchzuführen, haben wir die Abweichungen von der ausgeglichenen Kurve der Muskelkraft in zwei Gruppen geteilt, die den Barometerständen $\geqq 763$ bzw. $\leqq 762$ entsprechen. Die Mittelwerte der beiden Gruppen von Abweichungen sind in Tabelle XIV

Tabelle XIV.

	L. 1905.	L. 1906.	J.	K.
$\geqq 763$	+ 0,09	+ 0,28	+ 0,47	+ 0,15
$\leqq 762$	— 0,03	— 0,17	— 0,44	— 0,09

angeführt; für P. kommen hier keine Werte vor, weil diese Kurve wegen der großen Senkung im Mai sich nicht vollständig ausgleichen ließ. Aus Tabelle XIV ist ersichtlich, daß den hohen Luftdrucken stets positive, den niedrigen Luftdrucken negative Abweichungen entsprechen, oder mit anderen Worten:

Die Muskelkraft wird im Frühlingshalbjahr vom Luftdrucke so beeinflußt, daß sie mit demselben auf- und abschwankt.

Die in Figur 11 hervortretende Beziehung zwischen Muskelkraft und Luftdruck ist also durch zwei verschiedene Umstände zustande gekommen. Erstens ist die Muskelkraft tatsächlich relativ größer bei hohem als bei niedrigem Luftdruck, und zweitens wird diese Wirkung noch durch den zufälligen Umstand verstärkt, daß der Luftdruck während der letzten Hälfte der Versuchszeit größer als während der ersten Hälfte war. Die Senkungen der Kurven (Figur 11) bei den höchsten Luftdrucken rühren ebenfalls von einer Zufälligkeit her. Die höchsten Barometerstände kamen nämlich

nur in den Wintermonaten vor, wo die Muskelkraft noch relativ gering war, und die mittleren Werte der Muskelkraft bei diesen hohen Luftdrucken sind daher verhältnismäßig klein ausgefallen.

Im Herbste verhält es sich nun ganz anders, wie aus Figur 12 ersichtlich. Von den hier gezeichneten Kurven stimmen nur zwei, nämlich J. und L. 1905, überein, und diese stehen in schroffem Gegensatze zu den Kurven der a-Reihe, indem sie eine stetige

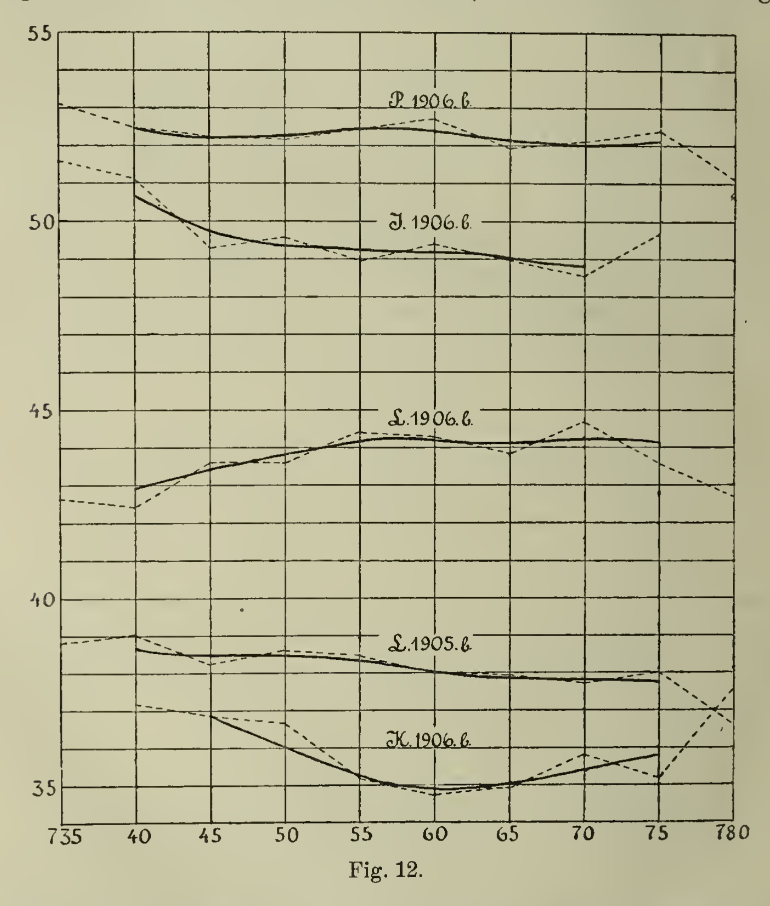


Fig. 12.

Zunahme der Muskelkraft bei abnehmendem Luftdruck zeigen. Die Kurve P. ist eine fast wagerechte Linie, was mit anderen Worten nur heißt, daß die Muskelkraft vom Luftdruck völlig unabhängig ist. L. 1906 ist auch oberhalb 755 mm eine Gerade, senkt sich aber stark bei den geringen Luftdrucken; bei derselben Vp. finden wir also in zwei nacheinander folgenden Jahren ungefähr ein entgegengesetztes Verhältnis. Die Kurve K. schließlich hat einen

Minimumpunkt beim Normalluftdruck (760 mm) und erhebt sich sowohl bei den kleineren als bei den größeren Luftdrucken. Eine größere Variation der Kurvenformen läßt sich kaum wünschen.

Von einer gesetzmäßigen Beziehung der Muskelkraft zum Luftdruck des Herbstes kann also keine Rede sein, und es wird somit unsere Aufgabe, nachzuweisen, wie die in Figur 12 hervortretenden Verschiedenheiten zustande gekommen sind. Dies wird uns nun auch keine größeren Schwierigkeiten bereiten. Wir haben gesehen, daß ganz regelmäßig im September und Oktober ein starkes Steigen der Muskelkraft eintritt, wonach dieselbe entweder konstant wird, oder, bei älteren Individuen, mehr oder weniger abnimmt. Nehmen wir nun an, daß diese von dem Lichte und der Wärme verursachten Veränderungen, die zu individuell verschiedenen Zeitpunkten eintreffen, vom Luftdruck völlig unabhängig sind, so erklären sich die Verschiedenheiten der Figur 12 einfach dadurch, daß die Veränderungen der Muskelkraft, je nach dem Zeitpunkte ihres Eintreffens, unter verschiedenem Luftdruck stattfinden. Dies tritt besonders deutlich bei L. hervor, der sowohl 1905 als 1906 Messungen angestellt hat. Im Herbste 1905 zeigt die Muskelkraft dieser Vp. genau dieselben Veränderungen wie 1906; sie steigt im September und sinkt darauf allmählich (vgl. Figur 14). In den beiden Jahren 1905 und 1906 verteilen sich die Luftdrucke nun aber ganz verschieden. Die monatlichen Mittelwerte waren 1905: September 760,0, Oktober 756,3, November 757,8 und Dezember 769,1. Der Luftdruck des Oktober war also relativ gering, die Muskelkraft aber groß; im Dezember war der Luftdruck ungewöhnlich hoch, während die Muskelkraft ihr Minimum erreichte. Die Muskelkraft nahm also ab, während das Barometer stieg, und eben dies tritt in der Kurve L. 1905 hervor. Im folgenden Jahr verhielt es sich eben umgekehrt. Die monatlichen Mittelwerte des Luftdrucks waren:

August 757,7; September 762,9; Oktober 759,5;
November 755,1; Dezember 755,4.

Im September und Oktober war der Luftdruck also relativ hoch, im November und Dezember dagegen, wo die Muskelkraft stark abnahm, ungewöhnlich gering. Mit sinkendem Barometerstande nimmt also, wahrscheinlich aber aus ganz anderen Ursachen, die Muskelkraft ab, was eben in der Kurve L. 1906 b zutage tritt. Auf dieselbe Weise lassen sich die übrigen Kurven der Figur 12

erklären. Die Vp. P. steigt nur wenig im September und sinkt auch wenig im November und Dezember (vgl. Figur 5); die Muskelkraft hat also bei jedem Luftdrucke fast denselben Wert, wie es die Kurve P. 1906 b zeigt. Bei J., deren Muskelkraft vom September bis zum Ende des Jahres steigt, finden wir somit die größte Muskelkraft gleichzeitig mit dem niedrigen Barometerstande des November und Dezember; daher steigt die Kurve J. 1906 b stark mit sinkendem Luftdruck. Die Schüler K. schließlich verhalten sich ungefähr wie die Vp. J., nur steigt ihre Muskelkraft auch im Oktober, wo J. vorübergehend eine Abnahme zeigt. In Übereinstimmung hiermit erhebt sich die Kurve K. 1906 b nicht nur bei sinkendem sondern auch ein wenig bei steigendem Luftdruck.

Wir sehen also, daß die verschiedenen Formen der Kurven der Figur 12 einfach durch den Umstand erklärt werden können, daß die gesetzmäßigen Veränderungen der Muskelkraft im Herbste zu individuell verschiedenen Zeiten, somit auch bei verschiedenem Luftdrucke, eintreten und völlig unabhängig von dem jeweiligen Luftdrucke verlaufen. Wir können daher aus den betreffenden Messungen nur den Schluß ziehen, daß die Muskelkraft im Herbste von dem Luftdrucke unabhängig ist. Es erhebt sich dann die von einem theoretischen Gesichtspunkte interessante Frage: Wann fängt die Muskelkraft wieder an, vom Luftdrucke abhängig zu werden? Wir sahen oben, daß eine solche Einwirkung im Frühlingshalbjahre sich tatsächlich nachweisen läßt, es ist aber wenig wahrscheinlich, daß sie plötzlich am Anfange des Kalenderjahres eintreten sollte. Die Frage ist schwer zu beantworten, weil sowohl die Wärme als zahlreiche physiologische Faktoren außer dem Luftdrucke unregelmäßige Schwankungen der Muskelkraft verursachen können. Es stimmmen daher, wenn man den Luftdruck und die Muskelkraft von Tag zu Tag aufzeichnet, die beiden erhaltenen Kurven, wie Figur 10 b zeigt, nie völlig überein. In Figur 20, die der Figur 10 b entspricht und die Messungen L.s im Winter 1905—06 wiedergibt, stellt B den Luftdruck, M die Muskelkraft dar. Man sieht, daß vor Anfang November von einer Übereinstimmung der beiden Kurven gar keine Rede sein kann; im November und Dezember schwanken die Kurven zuweilen, häufig aber nicht, in derselben Richtung, später werden die Übereinstimmungen häufiger. Andererseits findet man gewöhnlich, daß die Abhängigkeit vom Luftdrucke gegen Mitte Juni aufhört (vgl.

Figur 10 b), ungefähr zu der Zeit, wo die Muskelkraft vorläufig nicht mehr wächst; die Grenze ist natürlich hier ebenso fließend wie im Dezember. Nähere Bestimmungen sind also kaum möglich; wir können nur feststellen: *Im Herbste, bis gegen Ende November, ist die Muskelkraft vom Luftdrucke unabhängig.*

Selbstverständlich wird es im folgenden unsere Aufgabe sein, womöglich die Sonderbarkeit zu erklären, daß die Muskelkraft im Frühjahre vom Luftdrucke abhängig, im Herbste dagegen unabhängig ist. Erst müssen wir aber den zweiten Fall erörtern, der sich experimentell untersuchen läßt, nämlich die Beziehung der Muskelkraft zu größeren, konstanten Veränderungen des Luftdruckes.

Große, konstante Luftdruckveränderungen. Anfang Juli 1905 war es schon aus den Messungen L.s ersichtlich, daß die relativ kleinen, täglichen Schwankungen des Luftdruckes einen nachweisbaren Einfluß auf die Muskelkraft ausübten. Es stand daher zu erwarten, daß eine dauernde Luftdruckverminderung um 85 mm anfangs wenigstens nicht unerhebliche Störungen verursachen würde. Die Erfahrung entsprach den Erwartungen nicht. Die folgenden Messungen in Bessheim[1]) zeigten durchaus nichts, was eine Störung genannt werden könnte; dagegen trat bei der späteren Rückkehr zum Meeresniveau eine interessante Erscheinung auf, die eine nähere Untersuchung erheischte, weil sie von der größten theoretischen Bedeutung sein würde, wenn sie sich auch bei anderen Personen beobachten ließe und nicht ausschließlich eine individuelle, sich nicht mehr wiederholende Sonderbarkeit wäre. Deshalb wurden die Messungen der drei Vp. P., L. und J. in die

1) Die Touristenstation Bessheim liegt auf 61° 31′ nördl. Breite und 1° 52′ westl. Länge von Christiania. Die Höhe über dem Meeresniveau ist bisher nicht genau bestimmt. Nach unseren barometrischen Beobachtungen, die sich über 84 Tage erstrecken und in der südlichsten Hütte der Station angestellt wurden, war der mittlere Luftdruck 674,7 mm; die Temperatur, um 9 Uhr morgens abgelesen, ergab im Mittel 11,4° C. Nach den meteorologischen Beobachtungen ist des Sommers der mittlere Luftdruck der betreffenden Gegend aufs Meeresniveau reduziert 757 mm und die mittlere Temperatur, ebenfalls aufs Meeresniveau reduziert, 16°. Aus diesen Angaben berechnet wird die Höhe der südlichsten Hütte 964 m. Außerdem maßen wir mehrmals mittels des Quecksilberbarometers die Höhendifferenz zwischen unserer Hütte und dem naheliegenden See Gjendin, dessen Höhe nach der geographischen Vermessung Norwegens 979 m beträgt. Die Differenz ist nach unseren Bestimmungen 17,5 $\pm$ 2,0 m, und die Höhe unserer Hütte wird hiernach 961,5 m; die beiden verschiedenen Messungen stimmen also fast vollständig überein.

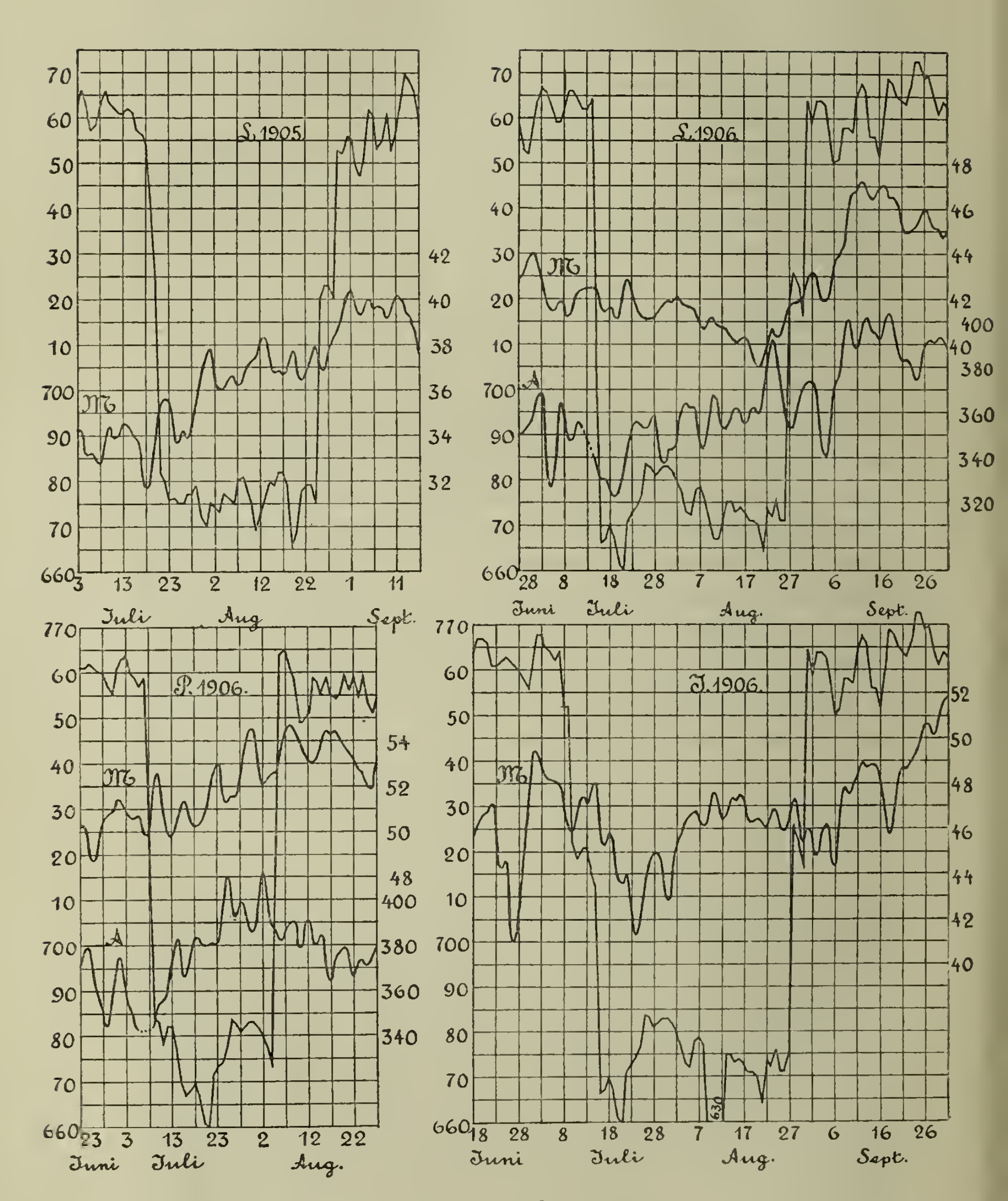


Fig. 13.

Sommerferien des folgenden Jahres in Bessheim verlegt. Die Reise von Christiania (Meeresniveau) bis dort dauert zwei Tage, und es wird in einer Höhe von etwa 450 m übernachtet; sowohl auf der Ausreise als auf der Rückreise hielten sich einige der Vp. mehrere Tage auf dieser Mittestation auf.

Unsere sämtlichen Messungen, diesen Aufenthalt im Hochgebirge betreffend, sind in der Figur 13 graphisch wiedergegeben. Die Figur besteht aus vier Teilen, den Versuchsreihen L. 1905, L. 1906, P. und J. entsprechend. Die gebrochenen Linien in jeder der vier Abteilungen stellen den von Tag zu Tag gemessenen Barometerstand, auf 0° reduziert, dar; die Zahlen links beziehen sich auf den Barometerstand. Von den Messungen vor und nach der Reise sind 15 bzw. 20—30 mitgenommen, um die Wirkung der Luftverdünnung deutlich hervortreten zu lassen. Die mit M bezeichnete Kurve jeder Abteilung ist die Muskelkraft, deren Größe rechts abzulesen ist. Die Ordinaten dieser Kurven sind übrigens nicht die direkt von Tag zu Tag gemessenen Werte; da diese Werte unvermeidlich mit zufälligen Fehlern behaftet sind, haben wir sie nach der Gleich. 4 ausgeglichen, damit die Kurven übersichtlicher werden. Schließlich kommt in den Abteilungen P. 1906 und L. 1906 noch eine andere, mit A bezeichnete Kurve vor, die die Additionsgeschwindigkeit darstellt. Von dieser letzteren wird später die Rede sein; vorläufig betrachten wir ausschließlich die Muskelkraft.

Der jähe Übergang vom Normalluftdrucke zur verdünnten Luft des Hochgebirges scheint gar keinen nachweisbaren Einfluß auszuüben (vgl. Figur 13). Die Kurven L. 1905 und J. zeigen zwar während der Reise eine starke Senkung; diese verschwindet aber, sobald die Mittestation (720 mm Luftdruck) erreicht wird, und eine fernere Wirkung der Luftverdünnung ist nicht nachzuweisen. Die große Senkung, die sich bei J. während der folgenden zehn Tage zeigt, ist erstens für diese Vp. gar nichts Ungewöhnliches (eine ebenso große Senkung findet sich in der Figur unmittelbar vor der Reise), und zweitens ist sie, aller Wahrscheinlichkeit nach, eher von der starken Temperaturverminderung verursacht, mit welcher sie zeitlich zusammenfällt; vgl. Figur 9, wo die Temperaturverhältnisse im Hochgebirge vom 15. Juli bis 24. August 1906 ersichtlich sind. Die Veränderungen der Muskelkraft während des Aufenthaltes im Hochgebirge sind nicht konstant, indem sie von

sehr vielen Faktoren abhängig sind. Die Kurven P. und L. 1905 zeigen eine bedeutende Zunahme der Muskelkraft, was wohl zunächst als eine Rekreationserscheinung, eine Folge der Erholung nach vorhergehender, anstrengender Arbeit, zu deuten ist. Etwas Ähnliches könnte auch bei J. und L. 1906 erwartet werden; J. schwankt aber nur wie vorher auf und ab, während L. vom 2. bis zum 20. August eine stetige Abnahme zeigt. Vergleicht man dies mit der Temperaturkurve *T* der Figur 9, so sieht man, daß eben während der erwähnten Zeit eine starke Temperatursenkung stattfand; da das Temperaturoptimum L.s viel höher als dasjenige J.s liegt, sind somit die individuellen Unterschiede der Veränderungen der Muskelkraft leicht erklärlich.

Die interessanteste Erscheinung tritt bei der Rückkehr zum Meeresniveau hervor. Hier zeigt sich konstant, an allen Vp., ein erhebliches Ansteigen der Muskelkraft, das entweder sofort oder spätestens in einer Woche einsetzt. Die Verschiedenheiten der Kurven können wiederum auf die Temperaturunterschiede zurückgeführt werden. Im Jahre 1905 schwankte die Temperatur, Ende August und Anfang September, um das Temperaturoptimum der Vp. L. herum; hier steigt die Muskelkraft sogleich bei der Rückkehr auf ein neues, bisher nie erreichtes Niveau. 1906 lagen die Verhältnisse ganz anders. Anfang August, als P. zurückkehrte, war das Minimum seines Schlafzimmers etwa 18°, und diese Temperatur hielt sich fast den ganzen Monat hindurch; hierdurch wird die Muskelkraft stark gehemmt, so daß sie nur wenig steigt. In den ersten Tagen des September, als J. und L. zurückkehrten, waren die Minima ihrer bzw. Schlafzimmer sogar etwa 21°; deshalb fängt die Muskelkraft erst am 6. September, als diese hohe Temperatur nachläßt, zu steigen an, erreicht aber dann eine bedeutende Höhe. Das Steigen dauert bei J., deren Temperaturoptimum niedriger als dasjenige L.s liegt, viel länger als bei L.; die Muskelkraft der beiden Vp. erhebt sich in dieser Zeit auf ein neues Niveau. Den besten Überblick über die erwähnten Veränderungen erhält man aus der Figur 14, wo die gegenseitige Lage der verschiedenen Perioden des Wachstums ersichtlich ist. Die Figur 14 entspricht der Figur 5, indem in der ersteren nur die monatlichen Mittelwerte der Messungen abgesetzt sind, so daß alle kleineren Schwankungen verschwinden. Außerdem sind hier sämtliche Messungen der Vp. L, im April 1905 anfangend, mit-

genommen; die hauptsächlich von den Temperaturverhältnissen bedingten Unterschiede der beiden Jahre treten hier deutlich hervor. Man sieht ferner, daß das starke Ansteigen der Muskelkraft im Jahre 1906, trotz ungünstiger Temperatur, bei P. Anfang August, bei J. und L. dagegen Anfang September stattfindet, also eben bei der Rückkehr zum Meeresniveau und viel früher als die Erhebung der Kurve K., die erst gegen Ende September eintritt, und, wie schon oben dargelegt, ausschließlich als eine Folge des Temperatursinkens anzusehen ist. Daß dieses Temperatursinken auch auf die anderen Vp. eine Wirkung ausübt, ist aus Figur 14

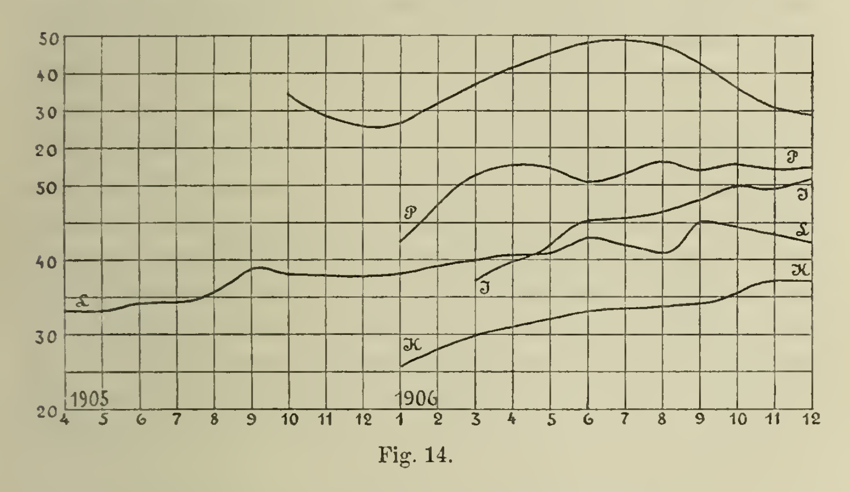


Fig. 14.

leicht ersichtlich; an L., dessen Temperaturoptimum hoch liegt, bewirkt es eine schnelle Abnahme der Muskelkraft, an P. und J. dagegen, deren Temperaturoptima niedriger liegen, verursacht es eine Wiedererhebung bzw. eine größere Dauer der Erhebung der Kurven. Es kann somit wohl kaum einem Zweifel unterliegen, daß der Übergang aus der dünneren Luft des Hochgebirges zum Normalluftdruck am Meeresniveau eine besondere steigernde Wirkung auf die Muskelkraft ausübt. Diese Wirkung wird zwar von den jeweiligen Temperaturverhältnissen, und je nach der Lage des Temperaturoptimums der betreffenden Individuen verschieden beeinflußt, tritt aber stets als etwas relativ Selbständiges hervor.

Die hier besprochene Wirkung des Überganges aus einem geringeren zu einem höheren Luftdrucke kann auch im Hochgebirge beobachtet werden, was sich durch die Tabelle VI dartun läßt. Herr S., von dem die Messungen herrühren, hielt sich in der Zeit

vom 28. Juli bis 10. August fast ausschließlich in einer Höhe von über 2000 m auf; zuweilen übernachtete er jedoch in einer Höhe von 1300 m. Am 10. August kam er nach Bessheim (960 m) zurück, und am folgenden Tage wurden die bezüglichen Messungen angestellt. Seine Muskelkraft war nun, wie aus der Tabelle VI ersichtlich, im Laufe von vierzehn Tagen, genau um ein Drittel größer geworden; von einer Zufälligkeit konnte, wie die Reihen I, II und III zeigen, gar keine Rede sein. Die Erscheinung ist nur als eine Wirkung des Überganges aus geringerem zu höherem Luftdrucke erklärlich, was auch dadurch bestätigt wird, daß seine Muskelkraft, nachdem er sich vier Tage ruhig im Tale aufgehalten hatte, bedeutend gesunken war (vgl. Tabelle VI).

Das Resultat dieser Untersuchung kann also folgendermaßen kurz ausgedrückt werden:

Der jähe Übergang vom Meeresniveau zu einer Höhe, wo der Luftdruck um 90 mm niedriger ist, hat keinen nachweisbaren Einfluß auf die Muskelkraft, die ebensowenig in konstanter Weise von einem dauernden Aufenthalt in der erwähnten Höhe beeinflußt wird. Dagegen geht mit der Rückkehr zum Meeresniveau stets eine, je nach den Temperaturverhältnissen mehr oder weniger beträchtliche Steigerung der Muskelkraft einher.

Wir werden nun im folgenden versuchen, die hier nachgewiesenen Tatsachen zu erklären.

9) Die Tatsachen und ihre Erklärung.

Vergegenwärtigen wir uns zuvörderst die Resultate der vorhergehenden Untersuchungen:

Die aktinischen Strahlen des Sonnenlichtes fördern die Muskelkraft um so mehr, je stärker die Strahlung ist. Die Wärme dagegen hat ein individuell verschiedenes und vielleicht auch etwas verschiebbares Optimum, so daß sowohl höhere als niedrigere Temperaturen die Muskelkraft hemmen. Durch das Zusammenwirken dieser beiden Faktoren entsteht die jährliche periodische Variation der Muskelkraft. Im Januar beginnt sie, trotz der niedrigen Temperatur, mit der Lichtstärke zu steigen, und dieses Wachstum dauert, bis die hohe Temperatur der Sommermonate, Juni—August, einen Stillstand verursacht. Mit dem Temperatursinken im September fängt das Steigen der Muskelkraft wieder

an; Anfang November tritt dann schließlich, wegen der geringen Lichtstärke und Temperatur, wieder ein Stillstand oder gar eine Abnahme ein.

Die Muskelkraft wird im Frühlingshalbjahre von dem Luftdrucke so beeinflußt, daß sie mit demselben auf- und abschwankt. Im Herbste dagegen, bis gegen Ende November, ist die Muskelkraft vom Luftdrucke unabhängig. Der jähe Übergang vom Meeresniveau zu einer Höhe, wo der Luftdruck um 90 mm niedriger ist, hat keinen nachweisbaren Einfluß auf die Muskelkraft, die ebensowenig durch einen dauernden Aufenthalt in der erwähnten Höhe in konstanter Weise beeinflußt wird. Dagegen geht mit der Rückkehr zum Meeresniveau stets eine, je nach den Temperaturverhältnissen mehr oder weniger beträchtliche Steigerung der Muskelkraft einher.

Indem wir jetzt den Versuch machen wollen, diese Tatsachen zu erklären, fangen wir am besten mit der Wirkung der Wärme an, die uns die wenigsten Schwierigkeiten bereiten wird. Es ist nämlich aus zahlreichen physiologischen Untersuchungen, wie übrigens auch aus den alltäglichen Erfahrungen bekannt, daß die Gewebe und besonders die Nerven und Muskeln der Warmblüter, ihre maximale Leistungsfähigkeit nur bei einer ganz bestimmten Temperatur besitzen. Es kann daher kaum zweifelhaft sein, daß die Körpertemperatur nur um einige Zehntelgrade zu schwanken braucht, um eine Herabsetzung der maximalen Druckkraft, die durch unsere Versuche bestimmt wurde, zu bewirken. Daß solche von der Außentemperatur abhängige Schwankungen der Körpertemperatur vorkommen können, ist schon lange bekannt[1]. Daß sie, wenigstens bei der Vp. L., tatsächlich vorkommen, haben wir durch zahlreiche Messungen festgestellt. Während des Aufenthalts im Hochgebirge, wo das Minimum des Schlafzimmers bis auf 7° sank, und das Maximum des Tages dann kaum 12° erreichte, schwankte die Temperatur im Rektum morgens um 8 Uhr zwischen 36,4° und 36,5°; in den ersten Tagen nach der Rückkehr nach Kopenhagen, wo das Minimum des Schlafzimmers sich auf 22° erhielt, stieg die Körpertemperatur sofort auf 36,6°, und eine Woche später schwankte sie zwischen 36,7° und 36,9°. Bei

---

1) Tigerstedt, Die Wärmeökonomie des Körpers. Nagels Handbuch. Bd. I. S. 570.

den anderen Vp., deren Temperaturoptimum nicht innerhalb so enger Grenzen wie dasjenige L.s liegt, sind die Variationen der Körpertemperatur wahrscheinlich auch kleiner, Schwankungen um wenige Zehntelgrade genügen aber unzweifelhaft, um die maximale Druckkraft herabzusetzen. Es ist daher leicht verständlich, daß sowohl die Sommerwärme als die Winterkälte hemmend auf die Muskelkraft wirkt.

Ebensogut verstehen wir eine andere Erscheinung, das Ansteigen der Muskelkraft beim Übergang aus der verdünnten Luft des Hochgebirges zum Meeresniveau. Darüber besteht nämlich kein Zweifel mehr, daß die Sauerstoffarmut der verdünnten Luft dadurch kompensiert wird, daß sich eine größere Hämoglobinmenge im Blute bildet[1]). Findet nun die Rückkehr nach dem Meeresniveau in wenigen Tagen statt, so kann der Hämoglobingehalt nicht sofort auf die Norm zurückgehen, und das Individuum besitzt also tatsächlich mehr Hämoglobin als eigentlich notwendig. Es findet somit eine stärkere Oxydation der Gewebe als unter normalen Umständen statt, und dies tritt u. a. als eine Vergrößerung der Druckkraft zutage. Der Überschuß an Hämoglobin muß aber bald verschwinden, denn rote Blutkörperchen gehen stets in großer Anzahl zugrunde, und wenn unter dem veränderten Luftdrucke eine geringere Anzahl neugebildet wird, so muß das Blut also nach und nach hämoglobinärmer werden. Wenn hier ein Rückschluß von den Veränderungen der Muskelkraft auf die Hämoglobinmenge erlaubt ist, so wird die Größe der letzteren schon in wenigen Wochen auf die Norm reduziert.

Durch zahlreiche Untersuchungen ist ferner die Tatsache festgestellt, daß die Vermehrung der Anzahl der roten Blutkörperchen bei genügender Luftverdünnung schon nach 24 Stunden nachweisbar ist[2]). Es ist dadurch leicht verständlich, daß bei unseren Versuchen sich keine herabsetzende Wirkung der Luftverdünnung auf die Muskelkraft ergab, da das Aufsteigen vom Meeresniveau bis 960 m Höhe wenigstens 36 Stunden erforderte, und die erste Messung in dieser Höhe dann erst am folgenden Morgen stattfand. Die Luftverdünnung kann also schon zu dieser Zeit durch einen größeren Hämoglobingehalt kompensiert worden sein.

---

1) Bohr, Blutgase und respir. Gaswechsel. Nagels Handbuch. Bd. I. S. 213. — Zuntz, Höhenklima und Bergwanderungen. 1906. S. 201.

2) Zuntz, a. a. O. S. 175—176.

Über die physiologischen Wirkungen der Lichtstärke wissen wir nur wenig. Wie schon in der Einleitung hervorgehoben, meinte Finsen gefunden zu haben, daß die Hämoglobinmenge mit der Lichtstärke periodisch variiere, so daß sie ihr Maximum im September und ihr Minimum im Dezember habe. Gegen dies Resultat sind zahlreiche Einwände erhoben worden[1]. Zuntz macht aber darauf aufmerksam, daß die Ergebnisse derartiger Untersuchungen so sehr von äußeren Umständen beeinflußt werden können, daß weder positive noch negative Resultate eigentlich beweiskräftig sind. Die Angaben Finsens können also sehr wohl richtig sein, und als vorläufige Hypothese zur Erklärung fernerer Tatsachen wird es jedenfalls erlaubt sein, anzunehmen, daß die Hämoglobinmenge mit der Lichtstärke anwächst. Daß eine größere Hämoglobinmenge die Leistungsfähigkeit des neuromuskulären Systems vergrößert, kann als festgestellt angesehen werden; wir sahen ja eben, wie eine größere Druckkraft stets nach einem längeren Aufenthalt in verdünnter Luft als Folge des daselbst erreichten Überschusses an Hämoglobin eintritt. Wenn wir also von der Annahme ausgehen, daß der Hämoglobingehalt des Blutes mit der Lichtstärke periodisch variiert, so steht zu erwarten, daß auch die Druckkraft einer analogen jährlichen Variation unterliegt. Dies ist ja aber eben der Fall; die Muskelkraft zeigt dieselbe jährliche Periode wie die Hämoglobinmenge nach Finsen (Figur 1, *A*), nur mit der Ausnahme, daß das Maximum der Muskelkraft wegen der hemmenden Wirkung der Wärme etwas später fällt.

Mittels der aufgestellten Hypothese können wir ferner die Sonderbarkeit, daß die Muskelkraft sich im Herbste vom Luftdrucke unabhängig, im Frühjahr dagegen von demselben abhängig erweist, leicht erklären. Je größer nämlich die Hämoglobinmenge, um so leichter wird der Organismus trotz der täglichen Schwankungen des Luftdruckes mit der nötigen Menge Sauerstoff versorgt. Im Herbste, wo nach unserer Annahme das Maximum des Hämoglobingehaltes fällt, können die normalen Variationen des Luftdruckes daher keinen nachweisbaren Einfluß auf die Muskelkraft ausüben. Gegen Ende November aber nähert sich der Hämoglobingehalt seinem Minimum (vgl. Figur 1, *A*), und gleich-

1) Bie, Lysets Anvendelse i Lägevidenskaben. Kopenhagen 1904. S. 68.

zeitig beginnen die Luftdruckschwankungen, wie wir oben sahen, in der Kurve der Muskelkraft aufzutreten. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist also die Hämoglobinmenge im Winter zu gering, so daß der Organismus bei niedrigeren Luftdrucken tatsächlich an Sauerstoffmangel leidet; im Winter und im Frühjahr können wir daher eine Abhängigkeit der Muskelkraft vom Luftdrucke nachweisen. Die Sauerstoffarmut reicht aber unter normalen Umständen nicht aus, um die blutbildenden Organe zu reizen, so daß mehr rote Blutkörperchen gebildet werden; hier, wie sonst überall, muß eine gewisse Schwelle überschritten werden, damit eine besondere Wirkung eintritt. Die Schwelle wird aber wahrscheinlich überschritten, wenn der Luftdruck etwas unter die unterste Grenze der Luftdruckschwankungen am Wohnorte sinkt; dann wird die Luftverdünnung durch einen vergrößerten Hämoglobingehalt kompensiert, und deshalb haben wir keine Herabsetzung der Muskelkraft beim Aufsteigen ins Hochgebirge nachweisen können.

Wie leicht ersichtlich, ist die hier gegebene Erklärung der steigernden Wirkung der Luftverdünnung auf den Hämoglobingehalt des Blutes ganz unabhängig von unserer hypothetischen Annahme einer jährlichen Variation der Hämoglobinmenge. Die Tatsache, daß die Muskelkraft unter gewissen Umständen vom Luftdrucke abhängig ist, beweist, daß das neuro-muskuläre System schon bei den am Meeresniveau vorkommenden normalen Luftdruckschwankungen an Sauerstoffmangel leiden kann. Es kann daher auch nicht wundernehmen, daß die blutbildenden Organe bei noch größerer Luftverdünnung zu einer verstärkten Neubildung von Blutzellen gereizt werden. Der Umstand, daß die Steigerung der Blutbildung schon in einer Höhe von 400—500 m anfängt, wo man sich durchaus keines Sauerstoffmangels bewußt wird, beweist selbstverständlich nur, daß eine Veränderung des Gemeingefühls noch lange nicht bei einer Luftverdünnung eintritt, wo die maximale Leistungsfähigkeit des Organismus schon abzunehmen beginnt.

Psychische Arbeiten.

10) Schwankungen der Disposition.

Im vorhergehenden sahen wir, daß die Muskelkraft von verschiedenen äußeren Faktoren, wie der Lichtstärke, der Wärme und dem Luftdrucke abhängig ist. Es ist jedoch ziemlich unwahrscheinlich, daß es die Kraft der Muskeln sein sollte, die von den äußeren Umständen beeinflußt wird. Wir wissen ja, daß ein isolierter Froschmuskel stundenlang zu arbeiten vermag, ohne im geringsten ernährt zu werden, und wenn er, dem Anschein nach, völlig erschöpft ist, braucht man ihn nur mit Kochsalzlösung auszuspülen, um eine neue und keineswegs geringe Arbeit zu ermöglichen. In Anbetracht solcher Tatsachen darf man wohl behaupten, daß die Muskeln so große Energiemengen enthalten, daß ihre Leistungen schwerlich von kleinen Schwankungen des Hämoglobingehaltes des Blutes merkbar beeinflußt werden können. Dagegen ist es viel wahrscheinlicher, daß die Größe der zentralen Innervation, die die Kontraktionen des Muskels bestimmt, von Veränderungen der Ernährung, und besonders von der Oxydation der motorischen Zentren abhängig ist. Nach dieser Auffassung wird es also eigentlich nicht die Kraft der Muskeln, sondern die des Gehirns, deren Veränderungen wir im vorhergehenden untersucht haben; das praktische Resultat wird aber das nämliche, einerlei ob wir die Ursache der Veränderungen in den Muskeln oder im Gehirne suchen.

Gehen wir nun von dieser Auffassung aus, daß es hauptsächlich die Gehirnzentren sind, deren Zustand von den meteorologischen Faktoren abhängig ist, so folgt hieraus, daß jede Leistung des Zentralnervensystems ähnlichen Schwankungen wie die Muskelkraft unterliegen muß. Wenn die allgemeine Leistungsfähigkeit des Zentralnervensystems unter gegebenen Umständen variiert, wird sich die Veränderung durch jede beliebige Leistung nachweisen lassen können. Bezeichnen wir als Disposition oder Geneigtheit zum Arbeiten das subjektive Empfinden der Leistungsfähigkeit, so würde also, die Richtigkeit unserer Auffassung vorausgesetzt, auch diese Disposition u. a. von dem Wetter abhängig sein. Die Disposition ist nun leider, unter normalen Umständen,

etwas äußerst Vages, dessen Größe sich gar nicht angeben läßt. Ob man mehr oder weniger disponiert ist, erkennt man zumeist nur daran, wie die Arbeit von statten geht. Nur in extremen Fällen gibt sich die Disposition durch besondere Organempfindungen kund; man fühlt sich matt und müde, der Kopf ist einem schwer, oder man fühlt sich leicht und frisch, der Kopf ist klar usw. Es gibt indes einige Menschen, bei welchen eine Herabsetzung der Arbeitsfähigkeit fast stets mit einem mehr oder weniger starken Anfall von Migräne einhergeht. Die Stärke der Kopfschmerzen läßt sich selbstverständlich, wenn die Krankheit recht häufig auftritt, einigermaßen abschätzen, und diese Personen sind also wirklich dadurch imstande, ihre Disposition zu »messen«. In einem solchen Falle müßte sich also eine Beziehung des subjektiven Befindens zum Wetter nachweisen lassen können, wenn die Arbeitsfähigkeit, und damit die Disposition, von meteorologischen Verhältnissen abhängig wäre.

Herr Professor Dahlberg, Lehrer der Geographie an der Offizierschule zu Kopenhagen, hat uns ein diesbezügliches, umfangreiches und wertvolles Material zur Verfügung gestellt. Er befindet sich eben in der bedauernswürdigen Lage, sehr häufig an Migräne zu leiden, und als er einmal beobachtet zu haben glaubte, daß sein Befinden vom Barometerstande abhängig sei, nahm er sich vor, die Sache näher zu untersuchen. Jeden Abend beim Zubettegehen charakterisierte er sein Befinden im Laufe des Tages durch eine Zahl: ausgezeichnet = V, sehr gut = IV, gut = III, unbefriedigend = II und schlecht = I. Später protokollierte er, nach den monatlichen Berichten des meteorologischen Institutes, den Barometerstand jedes Tages. Die Beobachtungen wurden fünf Jahre lang, 1900—1904, fortgesetzt, so daß im ganzen 1826 Bestimmungen vorliegen; die Resultate der Beobachtungen sind in der Tabelle XV wiedergegeben. Die Barometerstände sind in Gruppen von 5 mm Gruppenlänge eingeteilt, und in jeder Gruppe ist die absolute Anzahl der hier vorkommenden Schätzungen V, IV, III, II und I aufgeführt. Da die verschiedenen Barometerstände ungleich häufig vorkommen, ist aus der absoluten Häufigkeit der verschiedenen Schätzungen nichts zu ersehen; die daraus berechnete relative Häufigkeit der in jeder Gruppe vorkommenden Schätzungen zeigt aber eine sehr einfache Gesetzmäßigkeit: das Urteil »ausgezeichnet« (V) wird um so häufiger, das Urteil »sehr

Tabelle XV.

Luftdruck	Absolute Häufigkeit						Relative Häufigkeit					B
	V	IV	III	II	I	Summe	V	IV	III	II	I	
732—36	4	4	1			9	.444	.444	.111			4,33
737—41	11	8	1		1	21	.524	.381	.048		.048	4,33
742—46	19	18	20	5		62	.306	.290	.322	.081	.	3,82
747—51	78	33	26	7	4	148	.527	.223	.176	.047	.027	4,18
752—56	183	76	38	12	5	314	.583	.242	.121	.037	.016	4,33
757—61	286	92	50	14	3	445	.643	.207	.112	.031	.007	4,45
762—66	293	58	44	15	1	411	.713	.141	.107	.036	.002	4,52
767—71	219	50	19	7		295	.742	.169	.064	.024	.	4,63
772—76	74	8	1	3	1	87	.850	.092	.011	.034	.011	4,74
777—81	18	2	3	2		25	.720	.080	.120	.080		4,44
681—86	8		1			9	.889		.111			4,78
Summe	1193	349	204	65	15	1826						4,44

gut« (IV) um so seltener, je größer der Luftdruck ist. Die übrigen Schätzungen (III, II und I), die viel seltner abgegeben wurden, zeigen die nämliche Tendenz, mit wachsendem Luftdrucke zu sinken; es kommen aber hier viele Ausnahmen vor. Diese Ausnahmen sind jedoch ganz bedeutungslos, wovon wir uns überzeugen können, indem wir das durchschnittliche »Befinden« bei jedem Barometerstande berechnen. Bezeichnen wir mit n_5, n_4 . . . n_1 die relative Häufigkeit der Schätzungen V, IV . . . I, so wird also das Befinden B bei jedem gegebenen Barometerstande:

$$B = 5 \cdot n_5 + 4 \cdot n_4 + 3 \cdot n_3 + 2 \cdot n_2 + 1 \cdot n_1 .$$

Die so berechneten Werte sind in der Kolonne B aufgeführt, und das Gesetz, welchem diese Werte unterliegen, ist leicht ersichtlich. Innerhalb der Grenzen 742—776 mm wächst B fast dem Luftdrucke proportional; nur außerhalb dieser Grenzen, also bei den selten vorkommenden sehr niedrigen und sehr hohen Barometerständen, finden sich einige Unregelmäßigkeiten. Das mittlere Befinden während der fünf Jahre ist 4,44; dieser Wert wird nie erreicht bei einem Luftdrucke niedriger als 757 mm, und bei einem Luftdrucke höher als 757 mm sinkt B nie unter den Wert 4,44. Das Befinden, die Disposition, oder wie man es nennen will, ist also ganz unzweifelhaft eine Funktion des Luftdruckes.

Ob wir in dem betrachteten Falle das Kopfweh als Ursache

der Herabsetzung der Arbeitsfähigkeit oder die verminderte Arbeitsfähigkeit als Ursache der Kopfschmerzen anzusehen haben, läßt sich nicht entscheiden und ist übrigens auch gleichgültig. Das Tatsächliche ist, daß der Zustand des Zentralorgans sich als von meteorologischen Verhältnissen abhängig erwiesen hat. Wie wir oben sahen, sind aller Wahrscheinlichkeit nach auch die Schwankungen der Muskelkraft größtenteils zentralen Ursprunges. Läßt die Abhängigkeit des Zentralnervensystems vom »Wetter« sich auf so verschiedene Weise dartun, so kann es nicht wundernehmen, wenn eine solche Beziehung nach und nach auf den meisten anderen Gebieten nachgewiesen würde. So hat z. B. der norwegische Arzt Magelssen schon unzweifelhaft dargetan, daß die Widerstandsfähigkeit des Organismus gegen infektiöse Krankheiten, besonders die Scarlatina, von der Wintertemperatur abhängig ist[1]. Da die Arbeiten Magelssens indes sehr verschieden beurteilt, einerseits als höchst originell, andererseits als ganz wertlos gestempelt werden, müssen wir das hier gefällte Urteil näher begründen.

Die Methode Magelssens ist im Prinzip die nämliche, die wir im vorhergehenden größtenteils angewandt haben; er gleicht die Werte der beiden in Beziehung zu setzenden Erscheinungen so lange aus, bis die Kurven übersichtlich werden. Seine praktische Ausführung dieser Ausgleichung ist aber so wenig glücklich wie überhaupt möglich. Der einfache Zweck einer Ausgleichung: die kleineren Schwankungen der Werte zu eliminieren, indem sie als zufällige Fehler betrachtet werden, scheint ihm gar nicht einzuleuchten. Er zielt stets darauf ab, die Werte so zu verändern, daß die Kurven entweder »parallel« oder »oppositionell« verlaufen. Dies erreicht er leicht, indem er die unsymmetrischen Ausgleichungsformeln:

$$(y_2) = \tfrac{1}{2} \cdot (y_1 + y_2);\quad (y_3) = \tfrac{1}{3} \cdot (y_1 + y_2 + y_3);\quad (y_4) = \tfrac{1}{4} \cdot (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)$$

usw. ganz nach Belieben anwendet. Gleicht man z. B. die eine Erscheinung mittels der ersten, die andere Erscheinung mittels der letzten dieser Formeln aus, so verschiebt man dadurch einfach die gegenseitige Lage der beiden Kurven, und das Resultat wird nicht der Nachweis einer tatsächlichen Beziehung, sondern die

---

1) Wetter und Krankheit. Heft 1—5. Christiania 1894—1906.

Erzeugung einer erkünstelten Gesetzmäßigkeit[1]). Eine solche läßt sich aber kaum zustande bringen, wenn gar keine Beziehung zwischen den beiden Erscheinungen existiert; man darf daher behaupten, daß Magelssen zwar eine Beziehung konstatiert hat, nur nicht die wahre.

Tabelle XVI.

J	*T*	*Sc*	*J*	*T*	*Sc*	*J*	*T*	*Sc*	*J*	*T*	*Sc*
1855	−1,9		1864	−0,7	2,6	1873	−0,1	0,7	1882	−1,1	2,5
6	−1,9		5	−1,2	1,1	4	+0,2	6,0	3	−0,7	6,0
7	−1,2		6	−1,4	8,3	5	−0,4	18,4	4	−0,6	10,3
8	−0,5		7	−1,4	16,6	6	−1,4	22,5	5	−0,6	12,6
9	−0,6		8	−1,3	13,3	7	−1,7	12,3	6	−0,7	12,8
1860	−1,2		9	−1,4	8,1	8	−1,4	4,1	7	−1,0	10,3
1	−1,5	5,9	1870	−1,9	7,6	9	−1,3	2,4	8	−1,3	5,4
2	−1,1	13,7	1	−1,9	4,5	1880	−1,6	1,7	9	−1,6	3,3
3	−0,6	10,4	2	−1,0	1,1	1	−1,6	1,5	1890	−0,4	3,8

Um einmal zu sehen, was herauskommt, wenn man richtig verfährt, haben wir das statistische Material Magelssens in betreff der Scarlatina[2]) einer Bearbeitung unterzogen; das Resultat ist in Tabelle XVI wiedergegeben. Unter *J* sind die Jahreszahlen angeführt; *T* ist die mittlere Wintertemperatur Christianias, in Graden Reaumur angegeben. Jeder Winter ist vom Oktober des vorhergehenden bis März des angegebenen Jahres gerechnet; die mittleren Temperaturen der auf diese Weise bestimmten Halbjahre haben wir zweimal, nach der Gleich. 4, ausgeglichen, und die Resultate in der Tabelle XVI aufgeführt. *Sc* schließlich ist die Mortalität der Scarlatina in Christiania, pro 10000 Einwohner angegeben; diese Zahlen sind nur einmal ausgeglichen. Da die Gleich. 4 vollständig symmetrisch ist, können die Maxima und die Minima der beiden Erscheinungen nicht dadurch verschoben werden, daß man die Werte ungleich stark ausgleicht. Dies war aber notwendig, um aus den stark schwankenden Temperaturwerten eine ebenso gleichmäßige, glatte Kurve wie die der Scarlatina zu erhalten.

1) Auf die ganz willkürlichen Verschiebungen und Umstülpungen der Kurven, mit welchen sich Magelssen amüsiert, gehen wir hier gar nicht ein; als wissenschaftliche Methode können sie nicht ernstlich genommen werden.

2) a. a. O. Heft 1. S. 14—16.

In Figur 15 sind die Werte der Tabelle XVI graphisch dargestellt; *T* ist die Temperatur, *Sc* die Sterblichkeit der Scarlatina. Die Kurven haben, wie ersichtlich, weder einen parallelen, noch einen oppositionellen Verlauf; die *Sc* ist zunächst als eine zusammengedrängte Wiederholung der *T* anzusehen. Auf die Form kommt es jedoch nicht an; viel wichtiger ist das hier deutlich zutage tretende Gesetz: die Sterblichkeit wächst, wenn mehrere

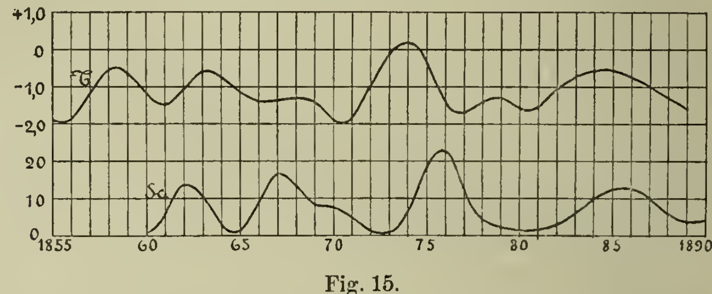


Fig. 15.

milde Winter nacheinander folgen, und sie wird um so größer, je milder die Winter. Kommen nur wenige milde Winter nacheinander, so wächst die Sterblichkeit erst später und erreicht keine bedeutende Höhe; wenn die Reihe der milden Winter aber durch einige sehr strenge unterbrochen wird, dann sinkt die Sterblichkeit fast bis auf Null. Eine einfache Beziehung der Scarlatina zur Wintertemperatur läßt sich also nicht leugnen, und höchst wahrscheinlich können auch ähnliche Beziehungen anderer Krankheiten gefunden werden. Um dies zu erreichen, muß man aber richtig verfahren; durch Kunstgriffe können zwar Gesetzmäßigkeiten fabriziert, nicht aber die Gesetze der Natur nachgewiesen werden.

11) Verschiedene Arten psychischer Arbeiten.

Tatsächliches und Theoretisches. Die Größe einer psychischen Arbeit können wir subjektiv einigermaßen nach der Größe der erforderlichen Aufmerksamkeitskonzentration abschätzen. Wie die Selbstbeobachtung lehrt, besteht indes zwischen den verschiedenen Arten psychischer Arbeiten ein wesentlicher Unterschied. Während einige in bezug sowohl auf die Geschwindigkeit als auf die Genauigkeit der Arbeit vollständig von der Anspannung der Aufmerksamkeit abhängig sind, indem sie mit derselben

wachsen, gewinnen andere dagegen entweder gar nichts oder nur äußerst wenig durch eine Konzentration der Aufmerksamkeit. Erstere Gruppe können wir als »Kraftleistungen« bezeichnen, weil sie durch die darauf angewandte Energie bestimmt sind; die andere Gruppe, die fast ausschließlich von der erworbenen Feinheit der psychophysiologischen Organisation abhängig zu sein scheint, können wir als »Präzisionsarbeiten« bezeichnen. Zur ersteren Gruppe gehört das Auswendiglernen, das Behalten gegebener Vorstellungen, und die Innervation willkürlicher Muskeln — wenn man diese Arbeit als eine psychische gelten lassen will. Daß die Größe, Geschwindigkeit und zumeist auch die Genauigkeit solcher Arbeiten mit der Anspannung der Aufmerksamkeit wachsen, ist eine alltägliche Erfahrung, die hier nicht dargelegt zu werden braucht. Ganz anders verhält es sich dagegen mit der zweiten Gruppe.

Zu den Präzisionsarbeiten rechnen wir das Unterscheiden und die Reproduktion assoziierter Vorstellungsreihen. Das Unterscheiden zweier Empfindungen oder Vorstellungen ist zumeist unmittelbar mit den Bewußtseinszuständen gegeben und erfordert keine besondere Aufmerksamkeit. Zuweilen gelingt es, kleinere Unterschiede, die uns vorher entgangen waren, durch eine größere Anspannung zu entdecken; diese Anspannung ist aber, wenn nicht besonders erschwerende Umstände vorliegen, sehr gering; am häufigsten handelt es sich nur darum, nicht unaufmerksam zu sein. Von einer größeren Aufmerksamkeitskonzentration wird bei solchen Arbeiten nur dann die Rede, wenn Störungen äußeren oder inneren Ursprunges gehemmt, ferngehalten werden sollen; dies geht ja aber die Arbeit an und für sich gar nichts an. Die Reproduktion geläufiger Vorstellungsreihen erheischt auch keine Anspannung der Aufmerksamkeit. Die Zahlenreihe, das Alphabet und ähnliches kann man fehlerfrei hersagen, während die Gedanken ganz anderswo beschäftigt sind; ja man würde wohl sogar kaum wissen, wie man es eigentlich anfangen sollte, um das Hersagen mit Aufmerksamkeit auszuführen. Zu den Reproduktionen geläufiger Vorstellungsreihen gehört auch, bei geübten Rechnern, die Ausführung einfacher Berechnungen. Es sei die Zahlenreihe $7 + 5 + 8 + \ldots$ gegeben; die Zahlen $7 + 5$ reproduzieren dann unmittelbar die Summe 12, diese in Verbindung mit der folgenden Zahl reproduziert 20 usw. Diese Operationen erfordern gar keine Aufmerk-

samkeitsanspannung, und sie werden durch eine solche — erfahrungsmäßig — weder schneller noch genauer. Das einzige, was man durch eine größere Anspannung der Aufmerksamkeit gewinnen kann, ist eine größere subjektive Gewißheit der Richtigkeit der Rechnung. Dies geschieht bei den meisten Menschen, die motorisch, mittels Sprechklangbilder, rechnen, auf die Weise, daß neben den Sprechbewegungen ein visuelles Schema entsteht, in welches die sukzessiven Summen eingeordnet werden. Indem man somit die Summen in ihrer rechten Lage zu den Addenden sieht, weiß man, daß die Addition richtig ist. Da diese gleichzeitigen Operationen mit zwei verschiedenen Bilderreihen selbstverständlich eine größere Arbeit erfordert, wird sie auch nur durch eine größere Anspannung erreicht.

Handelt es sich um die Reproduktion nicht ganz geläufiger Vorstellungen, z. B. um Berechnungen, die von ungeübten Rechnern ausgeführt werden, so wird auch sogleich eine größere Anspannung erforderlich. In diesem Falle liegen aber auch keine reinen Reproduktionen vor. Erheben die Addenden nicht sofort die Summe über die Schwelle des Bewußtseins, so muß diese Zahl auf Umwegen erschlossen werden, was sich z. B. mittels des eben erwähnten visuellen Schemas erreichen läßt. Der eine Addend wird dann in die Verlängerung des anderen verlegt, und man ersieht auf diese Weise die Summe aus dem Schema. Bei nichtvisuellen Individuen kann die Operation viel schwieriger werden, indem z. B. der eine Addend in zwei Teile zerlegt wird, deren einer das dekadische Komplement des anderen Addenden ist, und dieser runden Summe wird dann der andere Teil hinzugefügt. In diesen und allen analogen Fällen handelt es sich augenscheinlich um etwas ganz anderes als eine bloße Reproduktion; während man einige Vorstellungen reproduziert, müssen andere behalten werden, was immer eine besondere Konzentration der Aufmerksamkeit erheischt. Wir sind hier eben an der Grenze des eigentlichen Denkens, wo alle diese Tätigkeiten, Reproduktion, Unterscheiden, Behalten, gleichzeitig stattfinden.

Das hier Angeführte läßt sich unmittelbar durch die Selbstbeobachtung konstatieren; die Resultate sind übrigens schon längst von Lehmann durch Messungen bestätigt. Er fand, daß weder das Unterscheiden gegebener Empfindungen oder Vorstellungen noch die Reproduktion geläufiger Vorstellungsreihen eine so große

Arbeit erforderte, daß eine gleichzeitige Muskelarbeit dadurch gehemmt wurde. Die Reproduktion nicht ganz geläufiger Vorstellungen, wie sie beim Addieren mehrstelliger Zahlen und in noch höherem Grade beim Multiplizieren vorkommt, ging dagegen stets mit einer meßbaren Hemmung der gleichzeitigen Muskelarbeit einher; diese Hemmung wurde um so größer, je schwieriger die Rechnungen waren, und erreichte ihren Höhepunkt, wenn die Forderung an den Rechner gestellt wurde, daß er das Fazit seiner Rechnungen angeben, mithin die sukzessiven Resultate im Gedächtnis behalten sollte [1]. Später wurde nachgewiesen, daß es besonders die Gedächtnisleistungen waren, die die Arbeit beanspruchten; beim Auswendiglernen einer Reihe sinnloser Silben wuchs die Arbeit mit dem Quadrate der Anzahl der Reihenglieder [2]. Dies alles stimmt somit vollständig mit den Resultaten der Selbstbeobachtung.

Es gibt indes noch einen anderen Weg, auf welchem wir zu dem nämlichen Resultate gelangen können. Scheiden sich die psychischen Arbeiten in zwei Gruppen, die auf wesentlich verschiedenen Tätigkeiten beruhen, so ist es recht wahrscheinlich, daß eine Person, die natürliche Anlagen zu einer Arbeit der einen Gruppe besitzt, auch zu anderen Arbeiten derselben Gruppe fähig sein wird, während sie vielleicht gar nichts Bedeutendes in bezug auf Arbeiten der anderen Gruppe zu leisten vermag. Wenn man daher die Leistungen einer größeren Anzahl Vp. auf verschiedenen Gebieten untersucht, so wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach eine gewisse Übereinstimmung zwischen den zu jeder Gruppe gehörenden Leistungen zeigen, während die Leistungen in den beiden verschiedenen Gruppen von Arbeiten gar nicht übereinstimmen. Dies wird vollständig von der Erfahrung bestätigt. Die Untersuchungen von Oehrn [3], Spearman [4], Ebbinghaus [5], Pohlmann [6] und Krüger und Spearmann [7] haben samt und sonders

1 Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. II. Teil. S. 210—237.

2) Elemente der Psychodynamik. S. 341—351.

3) Experimentelle Studien zur Individualpsychologie. Kraepelin, Psychol. Arbeiten. Bd. I. S. 146.

4) General Intelligence. Amer. Journ. of Psychol. Bd. 15. S. 268 f.

5) Über eine neue Methode zur Prüfung geistiger Fähigkeiten. Zeitschrift f. Psychol. Bd. 13. S. 429—32.

6) Zur Lehre vom Gedächtnis. Berlin 1906. S. 51—54.

7) Die Korrelation zwischen verschiedenen geistigen Leistungsfähigkeiten. Zeitschrift f. Psychol. Bd. 44. S. 75—80, 99.

zu demselben Resultate geführt. Arbeiten, die dem Anschein nach recht verschieden sind, wie die Unterscheidung von Lichtintensitäten, von Tonhöhen und von Formen (Zählen von Buchstaben), das Addieren einstelliger Zahlen und das Kombinieren (Ergänzung lückenhafter Texte) zeigen eine hohe Korrelation einerseits miteinander und anderseits mit der »allgemeinen Intelligenz«, die sich zum Teil aus der Rangordnung der Schüler in der Klasse ergibt. Dagegen zeigt das Auswendiglernen keine Korrelation weder mit den genannten Arbeiten noch mit der »Intelligenz«. In letzterer Beziehung gibt es jedoch eine Ausnahme, indem Winch[1]), und zum Teil auch Pohlmann, eine Korrelation zwischen Gedächtnisleistungen und Intelligenz bei Mädchen nachgewiesen haben. Diese Ausnahme kann, wie leicht ersichtlich, darauf beruhen, daß die Intelligenz der betreffenden Mädchen hauptsächlich nach ihren Gedächtnisleistungen beurteilt wurde; sehen wir aber hiervon ab, so führen uns die erwähnten Untersuchungen ebenfalls zu einer Teilung der psychischen Arbeiten in die mehrmals genannten Gruppen.

Dieser Unterschied der beiden Arten psychischer Arbeiten war uns durchaus nicht klar, als wir uns entschlossen, die Schwankungen der psychischen Arbeitsfähigkeit durch tägliche Messungen zu bestimmen. Wir fingen mit einer Untersuchung des Gedächtnisses an; nach vier Monaten wurde diese aber wieder aufgegeben, weil die praktischen Schwierigkeiten so groß waren, daß sich kein der Mühe entsprechendes Resultat erwarten ließ. Wir versuchten darauf die viel leichter und bequemer durchzuführende Bestimmung der Additionsgeschwindigkeit, indem wir von der Betrachtung ausgingen, daß es auf die Art der Arbeit nicht ankomme. Von diesen verschiedenen Untersuchungen und deren Resultaten wird weiter unten eingehend die Rede sein; hier heben wir nur die Haupttatsache hervor, daß die Beziehungen der beiden Arbeiten zu den meteorologischen Erscheinungen durchaus verschieden ausfielen, was für den wesentlichen Unterschied derselben ja nur ein fernerer Beweis wird.

Als diese Resultate, gegen Ende des Jahres 1906, schon durchzuschimmern anfingen, erhob sich die recht natürliche Frage, ob es nicht möglich wäre, die fundamentalen psychophysiologischen

---

1) Immediate memory in school children. Brit. Journ. of Psychol. Vol. 1. S. 127.

Tatsachen, auf welchen der Unterschied der beiden Gruppen beruht, ausfindig zu machen. Ganz hoffnungslos erschien uns dieses Unternehmen nicht. Betrachten wir zuvörderst die Präzisionsarbeiten, so gibt uns die Selbstbeobachtung hier einen unzweifelhaften Fingerzeig. Die beim ersten Anblicke recht befremdende Tatsache, daß das Unterscheiden und die Reproduktion zueinander in Beziehung stehen, wird weniger sonderbar, wenn man die Bedeutung der Reproduktion für das Unterscheiden bedenkt. Zahlreiche Beobachtungen sprechen dafür, daß die Identifizierung, und mithin auch die Unterscheidung gegebener Empfindungen, nicht nur auf der Art und der Stärke, sondern auch auf den totalen Inhalten der Empfindungen beruht, d. h. die Möglichkeit des Unterscheidens hängt von einer ganzen Reihe reproduzierter psychischer Momente ab, die sich kaum mittels psychologischer Analyse in ihre Bestandteile auflösen lassen, ihr Vorhandensein aber dadurch zu erkennen geben, daß dann und wann einzelne Momente bewußt werden [1]).

Besonders wenn es sich um die Vergleichung sukzessiver und nur intensiv verschiedener Empfindungen handelt, spielt dieser Inhalt der Empfindung wahrscheinlich die Hauptrolle, weil die zuerst eintretende Empfindung gar nicht mehr ihre besondere Intensität besitzt, sobald die folgende, damit zu vergleichende eintritt. Hält man in diesem Falle seine Aufmerksamkeit auf die zuerst eingetretene Empfindung gerichtet, so besteht nach dem Aufhören derselben ein Zustand, der sich wohl nur als eine äußerst lebhafte Vorstellung, eine Erinnerung an die Empfindung beschreiben läßt. Tritt nun die zweite Empfindung ein, so wird entweder der gegebene Zustand ohne wesentliche Veränderung,

---

1) Elemente der Psychodynamik. S. 353—366. Die hier, S. 353, vorkommende Bemerkung, daß man bisher in der Psychologic dem Inhalte der Empfindung kein großes Gewicht beigelegt habe, ist insofern nicht korrekt, als Höffding schon in der ersten Ausgabe seiner Psychologie (Kopenhagen 1882) wie auch in allen folgenden Auflagen Tatsachen anführt, die es wahrscheinlich machen, daß die sogenannten einfachen Empfindungen recht komplizierte Verbindungen sind. Später hat Münsterberg (Neue Grundlegung der Psychophysik. 1890) die Inhalte der Empfindungen hervorgehoben als die einzig mögliche Erklärung der Tatsache, daß wir sukzessive Empfindungen in bezug auf ihre Intensität zu vergleichen imstande sind (vgl. besonders a. a. O. S. 54—55). Münsterbergs Ansicht, daß die Inhalte ausschließlich von Muskelspannungen herrühren, ist unzweifelhaft nicht stichhaltig.

nur viel lebhafter, fortdauern — und dann nennt man die beiden Empfindungen gleich — oder aber man empfindet, oft fast mit einem Chok, eine Veränderung des Zustandes, und dann nennt man die beiden Empfindungen verschieden. Diese Zustandsänderungen, die, je nach den Umständen, mehr oder weniger entschieden hervortreten, sind fast immer gefühlsbetont; die entschiedene Fortdauer oder Veränderung des zuerst gegebenen Zustandes kann stark lustbetont sein, während die Unentschiedenheit immer unlustbetont ist. Was man beim bewußten »Vergleichen« einfacher Empfindungen erlebt, sind nur diese emotionell gefärbten Zustandsänderungen nebst den sich unvermeidlich einstellenden sprachlichen Benennungen des gesamten Zustandes.

Man kann indes auch so verfahren, daß man, wenn die erste Empfindung eingetreten ist, sofort seine Aufmerksamkeit auf die zuzweit eintretende lenkt. Dann verschwindet die Vorstellung von der ersten verhältnismäßig schnell, und da die beiden Zustände sich nicht im Bewußtsein begegnen, wird das Urteil subjektiv unsicherer und objektiv schwankender, was sich dadurch zu erkennen gibt, daß die Unterschiedsempfindlichkeit geringer, die Fehlerstreuung größer wird. Da in diesem Falle von keinem bewußten Vergleichen zweier Zustände die Rede ist, könnte man geneigt sein, ein »absolutes« Urteil anzunehmen. Ein solches findet aber tatsächlich nicht statt, indem die Beurteilung der zuzweit eintretenden Empfindung erfahrungsmäßig stets von der zuerst gegebenen abhängig ist[1]); die »Vergleichung« beruht also in diesem Falle auf einem völlig unbewußten Vorgange. Eine gewisse Übung ist wahrscheinlich notwendig, damit eine unbewußte Vergleichung überhaupt zustande kommen kann. Zuweilen kommt es nämlich vor, daß ungeübte Vp. sich außerstande erklären, zwei sukzessive Reize zu unterscheiden, selbst wenn der Intensitätsunterschied außerordentlich groß ist. Man braucht ihnen dann nur die Instruktion zu geben, die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die zuerst eintretende Empfindung zu lenken; dann verändert sich die Sache plötzlich, die Urteile werden sicher, und die Unterschiedsempfindlichkeit ist nicht wesentlich geringer als die der anderen Personen.

---

1) Lehmann, Beiträge zur Psychodynamik der Gewichtempfindungen. Archiv für die ges. Psychologie. Bd. VI. S. 460—462.

Die Analyse der Vergleichung einfacher Empfindungen zeigt also, daß dieser Vorgang ebensowohl unbewußt als bewußt verlaufen kann, selbst wenn man sich aber derselben bewußt ist, bemerkt man nichts anderes als eine häufig emotionell gefärbte Fortdauer oder Veränderung eines gegebenen Zustandes, wonach die Empfindungen als identisch, bzw. verschieden beurteilt werden. Es liegt hier mithin, dem Anschein nach, ein ganz elementares, nicht näher bestimmbares Erlebnis vor. Die Tatsache aber, daß sukzessive, nur intensiv verschiedene Empfindungen auch in bezug auf ihre Intensität verglichen werden können, macht die Annahme sehr wahrscheinlich, daß die sogenannten einfachen Empfindungen komplizierte Zustände sind, deren assoziativ zustandekommende Inhalte sich nicht verändern, indem die Empfindungen Vorstellungen werden. Je reicher diese Inhalte der Empfindungen sind, je mehr Einzelheiten sie umfassen, um so feiner wird die Unterschiedsempfindlichkeit, weil dann zwei Empfindungen, plus ihren totalen Inhalten, weniger leicht völlig kongruent, und somit identifiziert, werden. Große Inhalte der Empfindungen zeugen aber von einer großen Anzahl zentraler Leitungsbahnen, die ebenfalls ausgebildet sein müssen, damit z. B. das Addieren als einfacher Reproduktionsvorgang zustandekommen kann. Die Beziehung der beiden Tätigkeiten, sowie ihr charakteristisches Gepräge als Präzisionsarbeiten, werden hierdurch verständlich.

Die Kombinationsfähigkeit, die mittels der Ebbinghausschen Methode der Ergänzung lückenhafter Texte bestimmt wird, besteht, wie leicht ersichtlich, in der Hauptsache in einem Zusammenwirken der Reproduktionstätigkeit und der Unterscheidung; in geringerem Grade wirkt hier auch ein Behalten der Vorstellungen mit. Die gegebenen Wörter des Textes reproduzieren nämlich zuvörderst andere Wörter, die in Verbindung mit den gegebenen mehr oder weniger einheitliche Bilder reproduzieren. Diese Bilder müssen vorläufig behalten und miteinander verglichen werden, indem es die Aufgabe der Vp. ist, zu entscheiden, welches der verschiedenen Bilder am einheitlichsten ist, den unzweifelhaftesten Sinn ergibt. Die Beziehung der Kombination zu den übrigen Präzisionsarbeiten ist somit leicht verständlich.

Wie Oehrn nachgewiesen hat, stehen das Lesen und das Schreiben auch in hoher Korrelation z. B. zum Addieren[1]. Dies

---

1) Vgl. Krüger und Spearman, a. a. O. S. 99.

kann denn auch nicht wundernehmen, da bei diesen motorischen Funktionen die zentralen Vorgänge der Unterscheidung und der Reproduktion eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Wo dies nicht der Fall ist, wie z. B. bei der Bestimmung der einfachen Reaktionszeit, steht es auch nicht zu erwarten, daß sich eine größere Korrelation zu den psychischen Arbeiten nachweisen ließe, indem die größere oder geringere Geschwindigkeit der Muskelkontraktionen einen zu großen Einfluß ausüben muß. Wir werden später sehen, daß es sich eben so verhält.

Betrachten wir jetzt das gänzlich isoliert stehende Auswendiglernen, das Behalten gegebener Vorstellungen, so ist dasselbe, wie schon hervorgehoben, fast ausschließlich von der Konzentration der Aufmerksamkeit abhängig. Es handelt sich beim Auswendiglernen eben darum, daß nur die zu behaltenden Vorstellungen im Bewußtsein sind, während alle anderen gehemmt werden, und dies erreicht man um so vollständiger, je mehr die Aufmerksamkeit auf die zu behaltenden Vorstellungen gelenkt ist. Nach der Bahnungstheorie hat die Konzentration der Aufmerksamkeit zur Folge, daß die zwischen den sukzessiven Vorstellungen stattfindenden Bahnungen auf diese Vorstellungen beschränkt bleiben, und je größer also der zentrale Energieumsatz, und mithin die Bahnung ist, um so leichter und schneller muß folglich die Vorstellungsreihe auswendig gelernt werden. Die Fähigkeit des Behaltens wächst also mit der Energie der zentralen Vorgänge, für deren Größe die Bahnungskoeffizienten uns ein relatives Maß ergeben. Andererseits muß diese Fähigkeit um so kleiner werden, je feiner die Unterschiedsempfindlichkeit ist, weil, wie schon oben erwähnt, eine feinere Unterschiedsempfindlichkeit wahrscheinlich auf einer größeren Anzahl Leitungsbahnen beruht. Mit der Anzahl der Bahnen wächst aber auch beim Erlernen neuer Vorstellungsreihen die Möglichkeit der Bildung von Nebenreihen, wodurch die assoziative Verknüpfung in hohem Grade erschwert wird [1]. Es steht also zu erwarten, daß die Fähigkeit des Behaltens mit dem Bahnungskoeffizienten wächst, dagegen um so kleiner wird, je feiner die Unterschiedsempfindlichkeit ist.

Experimentelle Prüfung der Theorie. Wenn man die hier besprochenen Korrelationen untersuchen will, wird man ganz

1) Müller und Pilzecker, Zur Lehre vom Gedächtnis. S. 134—157.

natürlich darauf hingewiesen, mit Schallintensitäten zu arbeiten. Die Unterschiedsempfindlichkeit sowohl für Lichtintensitäten als -qualitäten, für Gewicht- und Druckreize wird nämlich in hohem Grade von peripheren Umständen beeinflußt, während die Unterscheidung von Tonhöhen, besonders wenn man die Angabe der Richtung des Unterschiedes fordert, von der besonderen musikalischen Begabung abhängig ist. Die Unterscheidung von Schallreizen dagegen bietet erstens den Vorteil, daß sie bei Menschen mit normaler Hörschärfe, so viel wir wissen, durch periphere Momente nicht gestört wird, so daß der zentrale Vorgang des Unterscheidens hier am reinsten zutage tritt. Zweitens besitzen nur wenige Menschen eine besondere Übung auf diesem Gebiete, weil die Unterscheidung von Schallintensitäten in keinem praktischen Berufe besondere Anwendung findet. Schließlich erhalten wir, bei der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit für Schallintensitäten, zugleich einen Wert des Bahnungskoeffizienten, so daß letzterer also keine speziell darauf gerichtete Untersuchung erheischt. Fügt man hierzu eine Prüfung der Additionsgeschwindigkeit und des Auswendiglernens, so können die Korrelationen untersucht werden.

Mit den eben, im November und Dezember 1906, im Laboratorium arbeitenden fünf männlichen und zwei weiblichen Studierenden wurde eine solche Prüfung unternommen. Die Studierenden entsprachen so wenig wie nur irgend möglich den Forderungen, die an ein solches Versuchsmaterial gestellt werden können, indem ihre Übung in verschiedenen Richtungen eine äußerst ungleichmäßige war. Einige hatten sich an psychologischen Untersuchungen beteiligt, andere dagegen nicht. Zwei der Vp. konnten fast professionelle Rechner genannt werden, die übrigen besaßen nur mäßige Übung, und ebenso verhielt es sich in bezug auf das Auswendiglernen. Die Modalitäten des Gedächtnisses waren auch sehr verschieden; die meisten waren zwar visuell-motorisch, eine Person gehörte dagegen dem indifferenten, eine andere dem auditiv-motorischen Typus an und eine dritte war ausgesprochen-typographisch-visuell. Wenn sich unter solchen störenden Umständen Korrelationen nachweisen lassen, darf man wohl annehmen, daß sie noch deutlicher hervortreten werden, wenn man eine mehr gleichartige Gruppe von Vp. untersucht. Die Versuche fanden zweimal wöchentlich, um 1—2 Uhr, statt; im ganzen wurde achtmal,

jedesmal nach demselben Schema, gearbeitet. Erst wurde eine Silbenreihe auswendig gelernt, darauf folgten fünf, teils auf-, teils absteigende Reihen von Schallintensitäten zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit, und dann fünf Minuten lang Addition. Nach einer kurzen Pause folgten wieder fünf Reihen von Schallintensitäten, und schließlich das Auswendiglernen einer Silbenreihe. An zwei Tagen wurde außerdem vor und nach der Addition eine Bestimmung der Reaktionszeit eingeschaltet. Die Anordnung und die Resultate dieser verschiedenen Versuche sollen jetzt einzeln besprochen werden.

Das Auswendiglernen. Die zu erlernenden Reihen waren zehngliederige sinnlose Silbenreihen, die unter Berücksichtigung aller nötigen Vorsichtsmaßregeln hergestellt waren [1]). Das Vorführen der Reihen geschah mittels einer großen rotierenden Trommel; die Silben waren auf lange Papierstreifen geschrieben, die auf die Trommel aufgespannt werden konnten. Die Höhe der kurzen Buchstaben war 4 cm, so daß die Silben bequem von allen Vp. gelesen werden konnten. Jede Silbe war 0,75 Sekunden sichtbar; das Intervall zwischen den einzelnen Wiederholungen 3 Sekunden. Am ersten Versuchstage wurde festgestellt, daß zehn Wiederholungen der zehngliedrigen Silbenreihen zu viel waren; die Silbenreihen wurden deshalb später nur achtmal gelesen, und eine Minute nach der Lesung wurde die Assoziationsfestigkeit nach der Ordnungsmethode untersucht. Jede Vp. erhielt ein Kouvert, die zehn auf Zettelchen gedruckten Silben enthaltend; die Silben sollten geordnet und das Resultat von jeder Vp. in ein Buch eingetragen werden. Hieraus ließ sich dann später teils die Anzahl der richtigen Assoziationen, teils die Anzahl der Silben, die sich am rechten Platze befanden, aufzählen. Da die Versuche des ersten Tages ausgeschaltet werden mußten, haben wir im ganzen vierzehn Silbenreihen auf diese Weise geprüft. In der Tabelle XVII sind die Resultate der sieben Vp. A., B. . . . G. aufgeführt; *O* ist die gesamte Anzahl der richtig geordneten Silben, *Ass* die gesamte Anzahl der behaltenen Assoziationen. Die Zahlen der beiden Reihen stehen in einem fast konstanten Verhältnisse zueinander, was nicht durchaus notwendig ist; man kann z. B. in einer zehngliedrigen Reihe sieben richtige Assoziationen haben, während keine

1) Lehmann, Psychologische Methodik. S. 69—70.

Silbe sich am rechten Platze befindet. Die Summe $O + Ass$ gibt folglich den genauesten Ausdruck für die erreichte Festigkeit der Assoziationen, diese Größe findet sich auch in der Tabelle XVII.

Dic Additionsgeschwindigkeit wurde mittels der Kraepelinschen Rechenhefte nach der Methode der fortlaufenden Addition bestimmt. Ohne Niederschreiben der Summenzahlen wurden reihenweise einstellige Zahlen bis zu 100 addiert; sobald 100 erreicht oder eben überschritten wurde, setzte die Vp. einen Strich und notierte daneben die Endziffer der letzten Summenzahl; mit dieser Endziffer fing die neue Addition an. Es wurde an jedem Tage genau fünf Minuten ohne Unterbrechung addiert; im ganzen also achtmal fünf Minuten. In der Tabelle XVII ist in der »*Adg*« die durchschnittliche Anzahl der in fünf Minuten ausgeführten Additionen angegeben.

Die Bestimmung der Reaktionszeit führten wir auf folgende einfache Weise aus. Jeder Vp. wurde ein Blatt Papier vorgelegt, auf welches ein Quadrat, dessen Seite 5 cm betrug, gezeichnet war; dieses Quadrat war durch feinere Linien in 100 kleine Quadrate geteilt. Auf ein gegebenes Signal fingen die Vp. an, möglichst schnell in jedes der kleinen Quadrate mit Bleistift ein $\times$ zu zeichnen. Die Prüfung dauerte jedesmal genau eine halbe Minute. Aus der Anzahl der Kreuze läßt sich die durchschnittliche Zeit berechnen, die das Zeichnen eines Kreuzes erfordert; diese Zeit t, in Tausendstelsekunden angegeben, findet sich in der Tabelle XVII aufgeführt. Da das Zeichnen eines Kreuzes nebst der Bewegung des Bleistiftes nach dem nächsten Quadrate drei verschiedene Bewegungen erfordert, erhält man aus den Werten t ungefähr die einfache natürliche Reaktionszeit durch Division mit 3.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für Schallstärken bestimmten wir mittels des Lehmannschen Fallphonometers. Um störende Nachklänge zu vermeiden, war die Zinkplatte gedämpft, indem ein dicker Karton, der dort, wo die Kugeln fielen, durchlöchert war, lose auf der Zinkplatte lag. Die Schalle wurden hierdurch kürzer, von Nebengeräuschen befreit, was die Unterscheidung sehr erleichterte. Der Normalreiz war $r = 256$ und kam stets vor dem variablen Reize. Die vereinfachte Konstanzmethode, die sich ausschließlich für Massenuntersuchungen eignet, wurde angewandt[1].

1) Psychologische Methodik. S. 97 f.

Zwei Reihen von Reizwerten, nämlich 86, 126, 166, 206, 246, 286, 326 und 106, 146, 186, 226, 266, 306, 346, mit welchen wir unregelmäßig, den Vp. unwissentlich, abwechselten, wurden systematisch, teils auf- teils absteigend durchgemacht. Wir erhielten auf diese Weise die gewöhnlichen drei Streuungskurven der g-, u- und k-Urteile, aus welchen sich, nach Ausgleichung der Kurven, die Werte $\frac{1}{2}(R_{II} + r_{20})$, $(r_2)_w$ und $\frac{1}{2}(r_{II} + r_{2u})$ bestimmen ließen. In der Tabelle XVII sind diese drei Werte in den Reihen R_{II}, »r_2 aus u«, und r_{II} aufgeführt. Außerdem kommt noch eine Größe r_2 vor, die sich nach der Bahnungstheorie folgendermaßen ableiten läßt.

Tabelle XVII.

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
R_{II}	189,5	235,3	212,3	205,0	189,2	226,8	220,2
r_2	167,2	201,3	181,0	185,6	163,2	204,0	194,7
r_2 aus u	172,2	204,2	184,2	190,3	163,6	204,6	198,0
r_{II}	146,8	171,8	153,5	167,7	140,1	180,3	171,8
ϱ	0,347	0,213	0,293	0,275	0,362	0,209	0,239
U	0,087	0,132	0,122	0,076	0,101	0,095	0,099
$10^5 \varrho \cdot U^2$	264	371	437	165	369	188	234
Adg	526	168	198	272	295	494	230
O	115	116	136	96	135	129	124
Ass	98	98	120	78	120	112	107
O + Ass	213	214	256	174	255	241	231
t	803	866	1018	966	844	913	763

Der Theorie zufolge hat man[1]):

$$\frac{\varkappa + R_{II} + u\,r^v}{\varkappa + r} = K = \frac{\varkappa + r}{\varkappa + r_{II} + u \cdot r^v}. \qquad \text{(Gleich. 5.)}$$

Die kleine Größe $\varkappa$ kann hier gegen die bei den vorliegenden Messungen vorkommenden Größen R_{II}, r und r_{II} vollständig vernachlässigt werden. Da man ferner hat:

$$u \cdot r^{v-1} = \varrho = \frac{r - r_2}{r}, \qquad \text{(Gleich. 6.)}$$

nimmt Gleich. 5 die folgende Form an:

$$\frac{R_{II}}{r} + \varrho = K = \frac{r}{r_{II} + \varrho \cdot r}. \qquad \text{(Gleich. 7.)}$$

1) Elemente der Psychodynamik. S. 86.

Da R_{II}, r und r_{II} bekannte Größen sind, läßt sich ϱ aus der Gleichung berechnen. Die so gefundenen Werte des ϱ sind in Tabelle XVII angegeben. Mittels Gleich. 6 kann dann ferner r_2 berechnet werden; diese Werte finden sich auch in der Tabelle XVII. Sie weichen, wie ersichtlich, nur unbedeutend von den aus den u-Urteilen ohne theoretische Voraussetzungen abgeleiteten Werte r_2 ab, und liefern mithin einen neuen Beweis für die Richtigkeit der Bahnungstheorie[1]). Die nach den Gleich. 6 und 7 gefundenen Werte r_2 und ϱ sind aber unzweifelhaft genauer als die unmittelbar aus den u-Urteilen abgeleiteten, erstens weil R_{II} und r_{II} sich aus den betreffenden Streuungskurven mit größerer Genauigkeit ableiten lassen als r_2, das von der immer unsicheren Lage eines Maximumpunktes abhängig ist, und zweitens, weil zur theoretischen Bestimmung des r_2 eine größere Anzahl Werte, nämlich sämtliche g- und k-Urteile in Betracht gezogen sind. Unseren folgenden Betrachtungen legen wir daher die nach den Gleich. 6 und 7 berechneten Werte zugrunde.

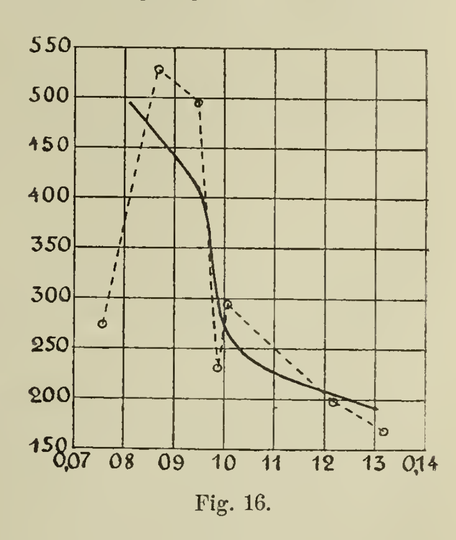


Fig. 16.

Es erübrigt nur noch die Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit U. Da r_2 gleich r, und R_{II} ebenmerklich größer als r geschätzt wird, ist die Unterschiedsempfindlichkeit also um so feiner, je kleiner die Differenz $R_{II} - r_2$. Folglich ist:

$$U = \frac{R_{II} - r_2}{r}.$$

Es läßt sich übrigens leicht beweisen, daß $U = K - 1$. Gleich. 7 zufolge ist nämlich:

$$\frac{R_{II}}{r} + \varrho = \frac{R_{II} + r - r_2}{r} = 1 + \frac{R_{II} - r_2}{r} = 1 + U = K.$$

Wir können jetzt zur Bestimmung der Korrelationen schreiten, wozu wir dasselbe Verfahren anwenden, das uns schon oben mehrmals gute Dienste geleistet hat. Wir setzen also z. B. die

1) Jedenfalls führt keine andere Theorie zu den obigen Formeln.

Additionsgeschwindigkeit einfach als Funktion der Unterschiedsempfindlichkeit ab, und erhalten dann die Figur 16, wo die durch punktierte Linien verbundenen Punkte die Werte der einzelnen Vp. sind. Um die hier zutage tretende Gesetzmäßigkeit deutlicher hervortreten zu lassen, können wir die Werte ausgleichen. Zwar sind die Argumente im vorliegenden und in allen analogen Fällen nicht äquidistant, dies wird uns aber keine größere Schwierigkeit bereiten können, da hier eine starke Ausgleichung mittels der Differenzen erster Ordnung vonnöten ist. Die Anwendung der dividierten Differenzen stellt sich dann sehr einfach.

Es seien die Argumente: $x_1 \quad x_2 \quad x_3$
die Differenzen derselben: $d_1 \quad d_2$
und die entsprechenden Funktionswerte: $y_1 \quad y_2 \quad y_3$

Der Mitte x_μ zwischen x_1 und x_2 entspricht der Funktionswert $y_\mu = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$, und der Mitte x'_μ zwischen x_2 und x_3 entspricht der Funktionswert $y'_\mu = \frac{1}{2}(y_2 + y_3)$. Nun ist aber die Differenz $x'_\mu - x_2 = \frac{1}{2} d_2$, und die Differenz $x_2 - x_\mu = \frac{1}{2} d_1$, mithin wird der ausgeglichene Funktionswert (y_2):

$$(y_2) = \frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \cdot \frac{y_3 - y_1}{2}. \qquad \text{(Gleich. 8.)}$$

Wird in Gleich. 8 $d_1 = d_2$ gesetzt, so geht sie in die Gleich. 4 über; man kann also mittels Gleich. 8 die Funktionswerte nicht äquidistanter Argumente ebenso ausgleichen, wie die Funktionswerte äquidistanter Argumente mittels Gleich. 4. Wenden wir dieses Verfahren auf die Additionsgeschwindigkeit an, so erhalten wir die Werte (Adg) der Tabelle XVIII, wo U die Unterschiedsempfindlichkeit, Adg die gemessenen Werte der Additionsgeschwindigkeit sind. Die Werte (Adg) bestimmen die vollgezeichnete Kurve der Figur 16. Wie zu erwarten war, wächst die Additionsgeschwindigkeit mit abnehmenden Werten des U stark an.

Den obigen Bemerkungen zufolge steht ferner zu erwarten, daß die Fähigkeit zum Auswendiglernen mit dem Produkte $\varrho \cdot U$ wächst. (vgl. S. 184). Dies ist zwar auch der Fall, sie wächst aber noch stärker mit dem Produkte $\varrho \cdot U^2$ an. Diese große Abhängigkeit von U ist unzweifelhaft nur eine Zufälligkeit; die Zahl unserer Vp. ist so klein und ihre individuellen Eigentümlichkeiten sind so ausgeprägt, daß man einem solchen Umstande kein zu großes Gewicht beilegen darf.

Tabelle XVIII.

U	Adg	(Adg)	$10^5 \varrho \cdot U^2$	$O+A$	$(O+A)$
0,076	272		165	174	
0,087	526	463	188	241	217
0,095	494	411	234	231	225
0,099	230	296	264	213	226
0,101	295	262	369	255	235
0,122	198	204	371	214	235
0,132	168		437	256	

Wir hoffen, bald die Sache an einem größeren Versuchsmaterial untersuchen zu können; in dem vorliegenden Falle ist aber die Korrelation zu $\varrho \cdot U^2$ unzweifelhaft. In der Tabelle XVIII sind, um Brüche zu vermeiden, die Werte $10^5 \varrho \cdot U^2$, ferner $O+A$ und die mittels Gleich. 8 ausgeglichenen Werte $(O+A)$ angegeben. Fig. 17 ist die graphische Darstellung der Beziehung, indem $10^5 \varrho \cdot U^2$ als Abszisse, und als Ordinate teils $(O+A)$, die die vollgezeichnete Kurve bestimmen, teils $O+A$ abgesetzt sind. Das Auswendiglernen wächst also, wie ersichtlich, sowohl mit ϱ als mit U, und steht mithin in schroffem Gegensatz zur Additionsgeschwindigkeit, die mit $1/U$ wächst.

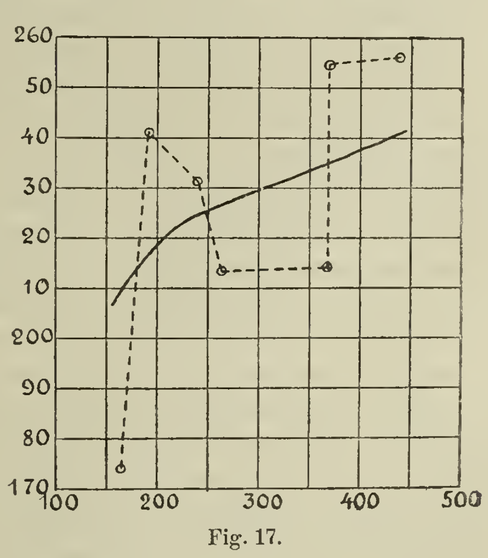


Fig. 17.

Die Reaktionszeiten, t der Tabelle XVII, zeigen eine, übrigens nicht erhebliche Korrelation zur Additionsgeschwindigkeit, was auch nicht wundernehmen kann, da jedenfalls die Mehrzahl der Vp. motorisch, mittels Sprechklangbilder, addierte. Wir werden hierauf indes nicht näher eingehen, da die Sache in dem vorliegenden Zusammenhange kein größeres Interesse besitzt. Es sei nur noch bemerkt, daß Spearmans »allgemeine Intelligenz« sowohl mit der Stärke der Bahnung als mit der Feinheit der

Unterschiedsempfindlichkeit wachsen muß, folglich durch ϱ/U bestimmt ist. Es ist daher verständlich, daß diese Größe in Korrelation zur Additionsgeschwindigkeit steht, die ebenfalls von $1/U$ abhängig ist, dagegen eine weit geringere Beziehung zum Auswendiglernen aufweist, das durch $\varrho \cdot U$ bestimmt wird.

Da das Auswendiglernen und die Additionsgeschwindigkeit, wie wir jetzt gesehen haben, zwei ganz verschiedene Arten psychischer Arbeiten repräsentieren, wird uns der Unterschied ihrer täglichen Schwankungen, die im folgenden untersucht werden sollen, ohne Schwierigkeit verständlich.

12) Die Additionsgeschwindigkeit.

Die Additionsgeschwindigkeit untersuchten wir nach der Methode der fortlaufenden Additionen (vgl. oben S. 187). Unsere Rechenhefte haben auf jeder Seite zwölf Kolonnen, in jeder Kolonne 50 einstellige Zahlen. Jeden Morgen wurden, entweder vor oder nach den dynamometrischen Messungen, sieben Kolonnen addiert; die hierzu nötige Zeit bestimmten wir mittels einer Fünftelsekundenuhr mit Arretierung. Aus der so gefundenen Zeit läßt sich die Anzahl A der Additionen in fünf Minuten berechnen, indem $A = 105000/t$, wenn t in Sekunden ausgedrückt ist. Diese Bestimmungen fingen Anfang Mai 1906 an und wurden bis Anfang Februar 1907 fortgesetzt; es beteiligten sich an denselben nur die Vp. P. und L. Außer den erwähnten täglichen Beobachtungen stellten wir in den Sommerferien 1906 eine Reihe Messungen an, um den Einfluß der Motion auf die Additionsgeschwindigkeit zu bestimmen. Diese Versuche wurden wie die entsprechenden Messungen der Muskelkraft vor und nach einem zweistündigen Spaziergange ausgeführt; die Messungen auch während des Spazierganges anzustellen, war dagegen aus praktischen Rücksichten nicht wohl möglich. Unser Resultat war ganz dasselbe, zu welchem schon früher Kraepelin gekommen ist[1]; die Additionsgeschwindigkeit wurde durch den Spaziergang stark herabgesetzt. So erhielt z. B. L. als Mittel aus neun Versuchen: vor dem Spaziergange 386 ± 10, nach dem Spaziergange 375 ± 10 Additionen pro fünf Minuten. Diese Resultate stehen also in schroffem

1) Geistige Arbeit. 4. Auflage. Jena 1903. S. 19.

Gegensatze zu denjenigen, die wir durch die Messungen der Muskelkraft erhielten, indem die Muskelkraft durch die Motion gesteigert wurde.

Noch deutlicher tritt dieser Gegensatz in den täglichen Messungen hervor. Eine Abhängigkeit der Additionsgeschwindigkeit von der Lichtstärke und vom Luftdrucke nachzuweisen, ist uns bisher nicht gelungen. Die Anzahl der Additionen pro fünf Minuten wächst fortwährend, was sich wohl nur durch die Übung erklären läßt, obschon die beiden Vp. schon vor dem Anfang dieser Messungen sehr geübte Rechner waren. Die Sache ist dennoch verständlich. Bei den Berechnungen des täglichen Lebens kommt es nämlich zuvörderst auf die Genauigkeit an, die größere oder geringere Geschwindigkeit ist dagegen Nebensache. Man führt daher wohl immer die Berechnungen so aus, daß man eine subjektive Gewißheit von der Richtigkeit derselben erhält, dies wird aber, wie schon oben auseinandergesetzt, nicht ohne Aufwand von Arbeit und Zeit erreicht. Bei den Messungen der Additionsgeschwindigkeit kann man anfangs diese angewohnte Rechnungsweise nicht aufgeben; nach und nach treten aber die Nebenoperationen, durch welche die Gewißheit erreicht wird, zurück, die auditiven oder motorischen Bilder, mittels welcher man die Addition ausführt, werden verkürzt, und so nähert die Geschwindigkeit sich langsam ihrem Maximum. Diese Steigerung der Additionsgeschwindigkeit durch die Übung dauerte bei uns ungefähr drei Vierteljahre lang, so daß eine eventuelle Abnahme im Winter vollständig verdeckt wurde. Ebensowenig gelang es uns, eine Beziehung zum Luftdrucke nachzuweisen. Im Dezember und Januar, wo die Muskelkraft mit dem Luftdrucke zu variieren anfängt, findet sich noch keine Spur einer solchen Abhängigkeit in betreff der Additionsgeschwindigkeit, obschon in diesen Monaten während unserer Messungen sehr große und dauernde Luftdruckveränderungen stattfanden.

Von den untersuchten äußeren Faktoren ist es nur die Temperatur, die einen nachweisbaren Einfluß auf die Additionsgeschwindigkeit ausübt; diese Einwirkung ist aber auch sehr erheblich, so daß alle Schwankungen größerer Wellenlänge wahrscheinlich hierdurch bestimmt sind. Alle solchen Umstände, die die Schwankungen der Arbeitsdisposition von Tag zu Tag verursachen, wie die Ernährung, die am vorhergehenden Tage

geleistete Arbeit, der Schlaf usw. beeinflussen unzweifelhaft die Additionsgeschwindigkeit viel stärker als z. B. die Muskelkraft, was sich dadurch zu erkennen gibt, daß die täglichen Variationen der ersteren zumeist recht erheblich sind. Sobald man aber diese Variationen ausgleicht, indem die Mittel der Messungen von je fünf Tagen berechnet werden, so zeigen sich die noch übrigbleibenden Schwankungen fast vollständig von der Temperatur abhängig. Kleine Unregelmäßigkeiten, die den Überblick erschweren, können leicht durch Ausgleichung mittels Gleich. 4 entfernt werden. Auf diese Weise haben wir unsere Messungen sowohl der Additionsgeschwindigkeit als der Minimumstemperatur des Schlafzimmers behandelt; das Resultat geht aus der Figur 18 hervor.

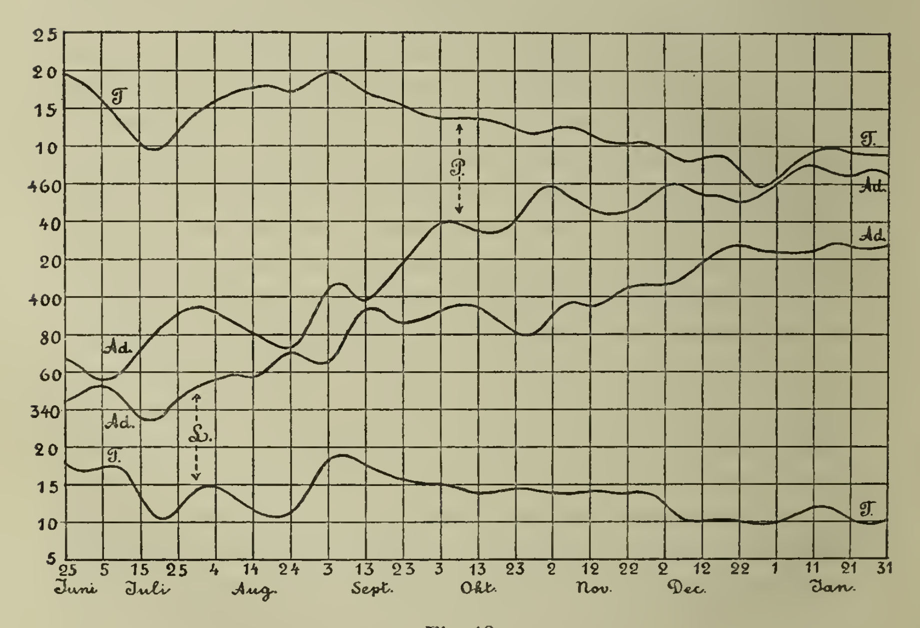


Fig. 18.

Die Figur enthält vier Kurven, die paarweise zusammengehören. Die beiden oberen stellen die Messungen der Vp. P., die beiden unteren diejenigen des L. dar. Die mit *T* bezeichneten Kurven, die oberste und die unterste, sind die Temperaturkurven; die beiden mittleren die Additionsgeschwindigkeit. Vergleicht man die zusammengehörigen Kurven, so ist es leicht ersichtlich, daß sie fast überall entgegengesetzt gerichtete Schwankungen auf-

weisen; wenn die Temperatur sinkt, steigt die Additionsgeschwindigkeit, und umgekehrt, wenn erstere steigt, sinkt die letztere. Die Veränderungen der beiden Erscheinungen treten jedoch nicht immer gleichzeitig ein; zumeist fängt die Additionsgeschwindigkeit erst dann zu variieren an, wenn eine Temperaturveränderung sich eine kurze Zeit geltend gemacht hat. Dies tritt am deutlichsten dadurch zutage, daß die Maxima und Minima der zusammengehörigen Kurven so gegeneinander verschoben sind, daß diejenigen der Additionsgeschwindigkeit oft etwas später als die der Temperatur eintreffen. Unzweifelhafte Ausnahmen von der Gesetzmäßigkeit, daß die Schwankungen der Additionsgeschwindigkeit denjenigen der Temperatur entgegengesetzt sind, treten erst um den 22. Dezember ein, wo die Temperatur sehr niedrig wird. Hier sinkt die Temperaturkurve P.s unter 7° C., die Kurve L.s unter 10°, und von diesem Augenblicke an erhalten die Schwankungen der beiden Kurven die gleiche Richtung: die Additionsgeschwindigkeit sinkt und steigt mit der Temperatur. Diese Tatsache läßt sich wohl nur so deuten, daß wir hier auch ein individuell verschiedenes Temperaturoptimum haben, das für P. bei 7°, für L. bei 10° liegt. Die Additionsgeschwindigkeit steigt, wenn die Temperatur sich dem Optimum, es sei nun von oben oder von unten, nähert, sie sinkt dagegen, wenn die Temperatur sich vom Optimum entfernt.

Sehr interessant ist ferner die Tatsache, daß das Temperaturoptimum der Additionsgeschwindigkeit viel niedriger als das der Muskelkraft liegt (vgl. oben S. 149—150). Die relative Lage dieser Optima der beiden Vp. ist aber fast dieselbe. P. hat seine Optima der Muskelkraft und der Additionsgeschwindigkeit bei 15° bzw. 7°; L. dagegen die seinigen bei 17,5° bzw. 10°; die Differenzen der Optima betragen mithin 8° bzw. 7,5°. Wir verstehen zwar noch nicht, warum eine niedrige Temperatur der Additionsgeschwindigkeit viel günstiger als der Muskelkraft ist, die Tatsache kann aber kaum einem Zweifel unterliegen, und ebenso gewiß ist die Lage der Optima durch die Konstitution der betreffenden Personen bestimmt.

Daß die Temperatur einen weit größeren Einfluß als die anderen meteorologischen Verhältnisse auf die Additionsgeschwindigkeit ausübt, geht auch aus der Figur 13 hervor, wo in den Abteilungen P. und L. 1906 die Additionsgeschwindigkeit während

des Aufenthalts im Hochgebirge von Tag zu Tage abgesetzt ist. Unter dem niedrigen Luftdrucke steigt die Kurve *A* stetig, nicht nur bei P., sondern auch bei L., dessen Muskelkraft allmählich sinkt. Beim Übergang zu höherem Luftdrucke zeigen P. und L. dagegen ein entgegengesetztes Verhalten. Die Additionsgeschwindigkeit des P. wird stark herabgesetzt — wegen der im August herrschenden hohen Temperatur. L. sinkt zwar auch anfangs, da die hohe Temperatur aber in den ersten Tagen des September bald nachläßt, steigt die Additionsgeschwindigkeit wieder auf die früher erreichte Höhe. Weder bei L. noch bei P. findet man in den Kurven der Additionsgeschwindigkeit die starke Steigerung der Leistungen, die beim Übergang aus niedrigerem zu höherem Luftdrucke für die Muskelkraft so charakteristisch ist. Nur die eben herrschende größere oder geringere Temperatur macht hier den Ausschlag. Hieraus scheint also hervorzugehen, daß die Hämoglobinmenge, die bei der Rückkehr zum Meeresniveau relativ groß ist, keinen Einfluß auf das Addieren ausübt, was wiederum mit der Tatsache übereinstimmt, daß die Additionsgeschwindigkeit sich von der Lichtstärke unabhängig erweist.

Die Resultate dieser Untersuchung können wir folgendermaßen zusammenfassen:

Die Additionsgeschwindigkeit wird weder von der Lichtstärke, noch von kleineren oder größeren, kurz oder lange dauernden Luftdruckveränderungen beeinflußt. Dagegen ist sie von der Temperatur in der Art abhängig, daß sie steigt, wenn die Temperatur sich einem gewissen, individuell verschiedenen Optimum nähert, und sinkt, wenn die Temperatur sich von dem Optimum entfernt. Dieses Optimum liegt viel niedriger als dasjenige der Muskelkraft. Das Addieren unterscheidet sich also in jeder Beziehung von den zentralen Vorgängen, die die Größe der Druckkraft bedingen.

13) Das Auswendiglernen.

Bei täglichen Messungen, die zu Hause, auf Reisen, überall, nur nicht im Laboratorium, ausgeführt werden, sind größere Apparate unanwendbar. Zur Vorführung der zu erlernenden Reihen ist unter diesen Umständen selbst Ranschburgs kleines Mnemometer zu voluminös, erfordert zu viele Nebenapparate und Vorbereitungen, um zweckmäßig zu sein, ganz davon abgesehen,

daß der Apparat keineswegs genau funktioniert. Eben bei den täglichen Untersuchungen des Gedächtnisses hat es aber große Bedeutung, daß die Vorführung der Reihen auf ganz bestimmte Weise stattfindet, weil Veränderungen der Vorführungsweise einen großen Einfluß auf die Resultate ausüben und die hiervon herrührenden Fehler sich schwerlich eliminieren lassen. Wir haben daher einen kleinen Apparat konstruiert, der jedenfalls alle Anforderungen an Einfachheit erfüllt, und sich auch bei den Messungen als sehr zweckmäßig bewährte.

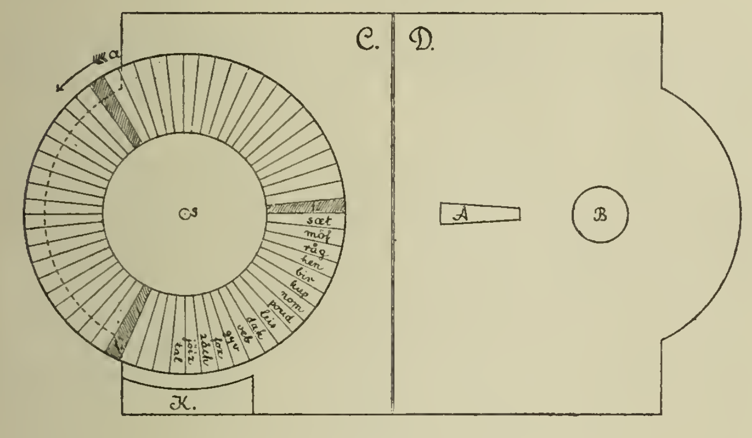


Fig. 19.

Die Konstruktion geht aus der Figur 19 hervor. Der Apparat ist einfach eine aus starkem Karton hergestellte lose Einbanddecke, die wie eine solche geöffnet und zusammengeklappt werden kann. An die Rückseite der linken Hälfte *C* ist eine kleine knöcherne Platte festgeleimt; diese Platte trägt in der Mitte einen Stiel *s*, der durch den Karton gestochen ungefähr 5 mm hervorragt. Auf diesem Stiel können die Scheiben des Ranschburgschen Mnemometers angebracht werden, wie die Figur es zeigt. Die rechte Hälfte *D* hat einen zirkulären Ausschnitt bei *B* und einen sektorförmigen bei *A*; wird diese Hälfte über die linke geklappt, so sieht man durch den Ausschnitt *A* eine der Silben, die auf die Scheibe geschrieben sind. Bei *K* faßt man den zusammengeklappten Apparat mit der rechten Hand; *K* ist ein Kartonstreifen, der es verhindert, daß die Scheibe festgeklemmt und daher nicht leicht gedreht werden kann. Faßt man nun

ferner den hervorragenden Teil der Scheibe mit der linken Hand bei a, und dreht die Scheibe in der Richtung des Pfeiles, so erscheinen nach und nach sämtliche Silben der Scheibe in dem Ausschnitt A. Handelt es sich nur um eine begrenzte Anzahl Silben (bis 20), so kann man die Drehung der Scheibe in einem Zuge, ohne den Griff der linken Hand zu verändern, ausführen, und nach kurzer Übung gelingt es leicht, die Scheibe so regelmäßig zu drehen, daß die Silben nach den Taktschlägen eines Metronoms gelesen werden können. Nach einer Durchlesung wird die Scheibe, bei geschlossenen Augen, schnell rückwärts gedreht, und ist dann sofort zu einer neuen Lesung fertig. Die schraffierten Sektoren der Scheibe können z. B. gefärbt sein, wodurch die Einstellung der Scheibe in die rechte Lage sehr erleichtert wird.

Zu diesen Untersuchungen waren im voraus 130 sechzehnsilbige Reihen unter Berücksichtigung aller nötigen Vorsichtsmaßregeln hergestellt. Die von L. ausgeführten Vorversuche fingen am 6. Oktober 1905 an und wurden bis 11. Februar 1906 fortgesetzt. Jeden Morgen wurde die Anzahl Lesungen bestimmt, die nötig waren, damit eine solche Reihe fehlerfrei hergesagt werden konnte. Jede Silbe war 0,75 Sekunden sichtbar; das Intervall zwischen den einzelnen Wiederholungen der Reihe drei Sekunden. Je kleiner die Anzahl W der Wiederholungen ist, die eine fehlerfreie Reproduktion ermöglichen, um so größer ist die Fähigkeit des Behaltens. Als Maß des Gedächtnisses kann man also $1/W$ oder, um Brüche zu vermeiden, $1000/W$ anwenden. Es zeigte sich indes sehr bald, daß allenfalls diese Methode nicht geeignet war, einwandfreie Resultate zu ergeben. Jede kleine, in einem Wohnhause fast unvermeidliche Störung, z. B. das Klingeln an der Eingangstür, konnte sehr leicht eine bis zwei Extralesungen notwendig machen; wenn durchschnittlich fünfzehn Lesungen angewandt werden, führt die Störung mithin einen zufälligen Fehler von 7—13 % herbei. Und dieser Fehler kann nicht eliminiert werden, da das Erlernen einer Reihe zu viel Zeit und Arbeit erheischt, um eine Wiederholung zu erlauben. Aus diesem Grunde nahmen wir davon Abstand, die Versuche in größerer Ausdehnung, mit mehreren Vp., durchzuführen; L. setzte die Versuche nur so lange fort, als die eben vorliegenden Silbenreihen ausreichten. Obschon also diesen Messungen von Anfang an kein großer Wert

beigelegt wurde, haben sie dennoch ein beachtenswertes Resultat ergeben.

In der Figur 20 sind die Bestimmungen des Gedächtnisses mit den gleichzeitigen Messungen der Muskelkraft und den beobachteten Barometerständen zusammengestellt. Um einigermaßen übersichtliche Kurven zu erhalten, haben wir die Barometerstände zweimal, die Muskelkraft und das Gedächtnis, durch den Wert $1000/W$ gemessen, je einmal nach Gleich. 4 ausgeglichen.

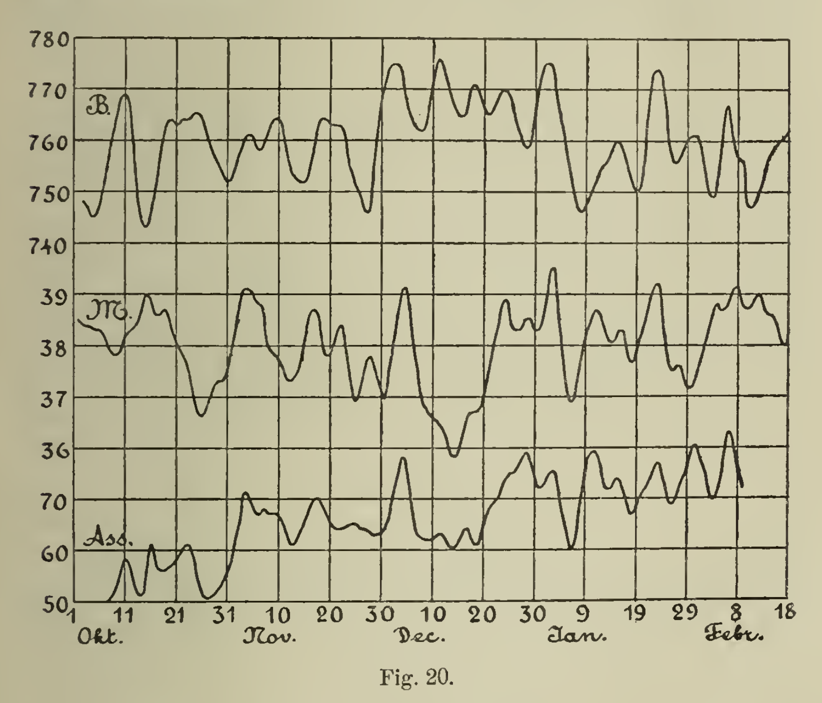


Fig. 20.

Die so erhaltenen Werte sind als Ordinaten, von Tag zu Tag, abgesetzt und bestimmen die drei Kurven, den Barometerstand B, die Muskelkraft M und das Gedächtnis *Ass*. Vergleicht man diese Kurven, so treten zwei Tatsachen deutlich hervor. Erstens sieht man, daß die Kurven M und *Ass* eine fast durchgängige Übereinstimmung zeigen; wo größere Abweichungen vorkommen, besonders im Januar und Februar, stimmen die Schwankungen des Gedächtnisses viel besser als die der Muskelkraft mit dem Luftdrucke überein. Zweitens ist ersichtlich, daß die Kurve *Ass*, trotz wachsender Übung, im November und Dezember gar nicht steigt, sondern nur auf- und abschwankt; erst im Januar tritt eine

deutliche Steigerung der Gedächtnisleistungen ein. Diese beiden Tatsachen entsprechen also vollständig den Veränderungen, die wir früher hinsichtlich der Muskelkraft nachgewiesen haben und sind unzweifelhaft auf dieselbe Weise zu erklären. Wenn man also aus einer solchen kleinen Versuchsreihe einer einzelnen Vp. bestimmte Schlüsse ziehen will, kann das Resultat nur folgendes werden:

Die Gedächtnisleistungen werden wahrscheinlich auf dieselbe Weise wie die Muskelkraft von den meteorologischen Verhältnissen beeinflußt.

Von den zahlreichen bisher vorliegenden Untersuchungen über das Gedächtnis können nur die oben (S. 103 und 123) erwähnten Messungen Lobsiens hier zu einem Vergleiche herangezogen werden, weil nur er gleichartige Versuche zu bestimmten verschiedenen Zeiten ausgeführt hat. Da er aber seine Messungen bloß einmal monatlich anstellte, sind die Werte von den augenblicklichen meteorologischen Verhältnissen sowie von zahlreichen anderen Zufälligkeiten abhängig. Um alle diese Zufälligkeiten möglichst weit zu eliminieren, haben wir zuerst aus den Durchschnittswerten der acht Schulklassen für jeden Monat die Mediane oder Zentralwerte nach Galtons Methode[1]) berechnet; diese Werte sind in der Reihe *Ass* der Tabelle XIX aufgeführt. In der Figur 7 sind sie als Ordinaten abgesetzt und mittels punktierter Linien verbunden. Die Werte schwanken, wie ersichtlich, von Monat zu Monat auf und ab; eine Gesetzmäßigkeit tritt jedoch hervor, wenn wir dieselben nach Gleich. 4 einmal ausgleichen.

Tabelle XIX.

	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Ass	518	521	559	528	618	555	612	549	642	553
(*Ass*)		530	542	558	580	585	582	588	597	

Wir erhalten dann die Werte (*Ass*) der Tabelle XIX, welche die vollgezeichnete Kurve *Ass* der Figur 7 bestimmen. Diese Kurve weicht von der der Muskelkraft vollständig ab, indem sie einen Stillstand im Februar und März, dagegen ein starkes Anwachsen der

1) Natural Inheritance. London 1889. S. 35—70.

Leistungen im November und Dezember zeigt. Diese Verschiebung der Stillstandsperiode kann aber ganz und gar eine Zufälligkeit sein, die durch einen einzigen fehlerhaften Wert bewirkt wird. Der im Januar gefundene Wert ist nämlich, wie aus der Tabelle XIX. ersichtlich, außerordentlich groß; er wird überhaupt nur von dem Werte des Mai übertroffen. Es ist also nicht unwahrscheinlich, daß dieser Wert des Januar durch zufällige günstige Umstände zu hoch ausgefallen ist; dies genügt aber vollständig, um eine falsche Lage der Stillstandsperiode herbeizuführen. Hätte man z. B. im Januar statt 618 nur 580 gefunden — und dieser Wert würde dann bloß von zwei anderen übertroffen werden — so würde die ausgeglichene Kurve im November und Dezember einen Stillstand, im Januar, Februar und März dagegen ein Anwachsen zeigen, und also genau der Kurve der Muskelkraft entsprechen. Aus den starken Schwankungen der Werte von Monat zu Monat geht hervor, daß diese Messungen mit großen zufälligen Fehlern behaftet sind, deren Größe wir gar nicht kennen; und wenn tatsächlich ein einziger fehlerhafter Wert genügt, um die Gestalt der Kurve völlig zu verändern, so dürfen wir also aus diesen Messungen nichts schließen.

14) Schluß.

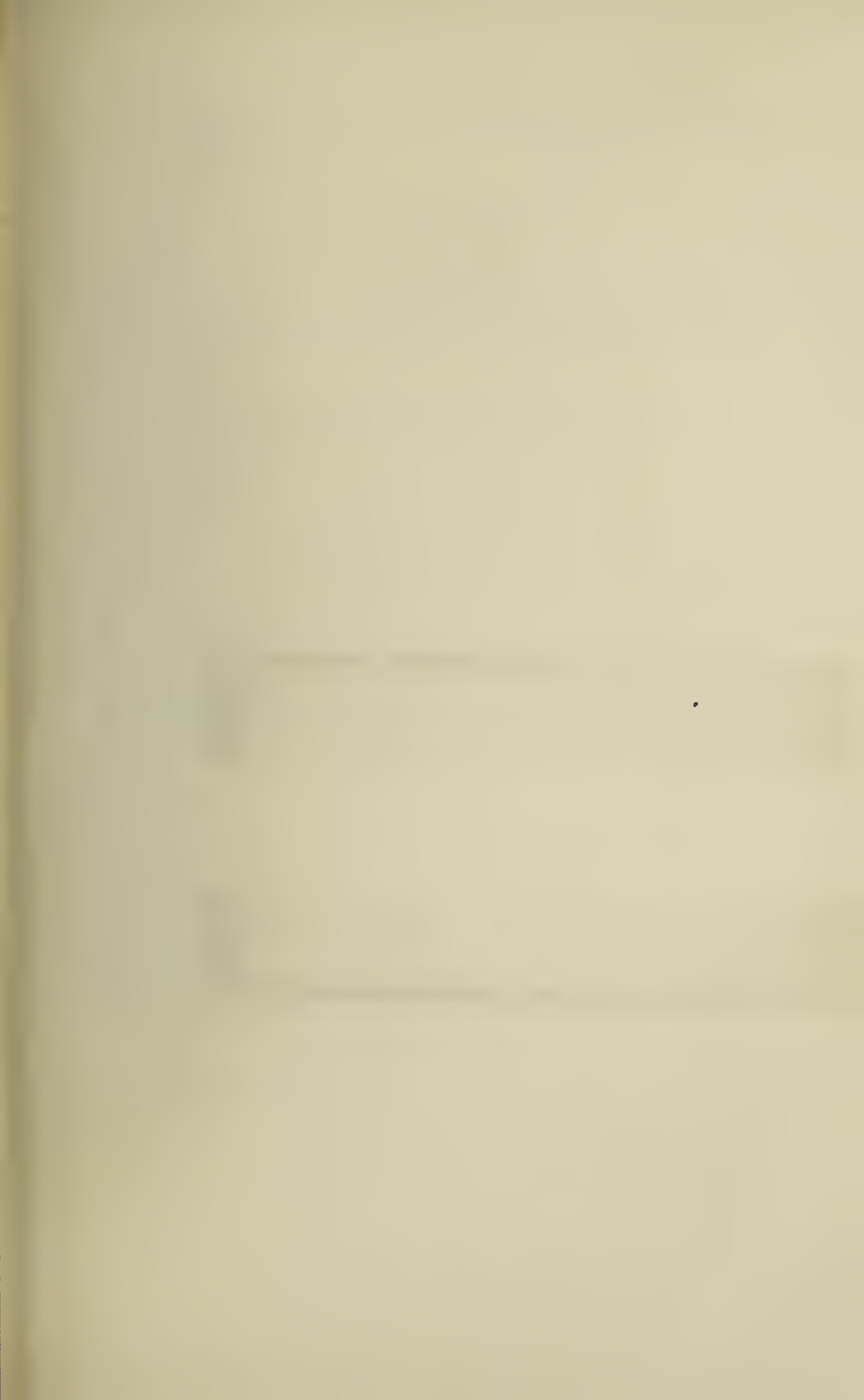
Die zuletzt besprochenen Untersuchungen über die Fähigkeit des Behaltens sind gewiß im hohen Grade der Nachprüfung bedürftig. Damit aber solchen Messungen überhaupt ein Wert beigemessen werden kann, sollten sie am liebsten täglich, jedenfalls viel häufiger als die Versuche Lobsiens angestellt werden. Ferner können durch eine zweckmäßige Wahl der Methode unzweifelhaft auch genauere Resultate erzielt werden. Bei Massenuntersuchungen ist die Methode der behaltenen Glieder, wenn nicht die einzig mögliche, so doch die einfachste und bequemste; weniger glücklich ist es aber, wie Lobsien es tat, Reihen von bekannten Wörtern anzuwenden, weil dabei zahlreiche Assoziationen mitwirken, die die Resultate auf unbekannte Weise beeinflussen können. Pohlmanns Angaben zufolge sind wahrscheinlich Zahlenreihen das beste Material zu derartigen Untersuchungen[1]. Bei

1) a. a. O. S. 21—29.

täglich ausgeführten Einzelmessungen ist entweder die Methode der behaltenen Glieder oder, vielleicht noch besser, die Ordnungsmethode vorzuziehen. Diese beiden Methoden erfordern weniger Lesungen als die oben angewandte Erlernungsmethode; dadurch wird die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Störung bedeutend herabgesetzt, und die Wirkung einer solchen gewiß auch geringer. Mittels einer dieser Methoden wird es unzweifelhaft gelingen, die Frage zu beantworten, ob die täglichen Schwankungen des Gedächtnisses denjenigen der Muskelkraft vollständig entsprechen. Wir haben die Lösung dieses Problems nicht versucht, weil wir im voraus davon ausgingen, daß unsere Bestimmungen der Additionsgeschwindigkeit dieselben Resultate wie die Untersuchungen des Gedächtnisses ergeben würden. Erst nach Abschluß unserer sämtlichen Versuche sind wir auf den wesentlichen Unterschied der beiden Arten psychischer Arbeiten aufmerksam geworden.

Aus dem Vorliegenden geht als unzweifelhaft hervor, daß die Größe nicht nur der körperlichen, sondern auch der psychischen Arbeit von Tag zu Tage variiert. Ferner haben wir nachgewiesen, daß diese Schwankungen der Muskelkraft, und wahrscheinlich auch die der Gedächtnisleistungen u. a. von der Lichtstärke, der Temperatur und dem Luftdrucke abhängig sind, während in betreff des Addierens nur eine Abhängigkeit von der Temperatur sich mit Sicherheit nachweisen ließ. Diese Tatsachen sind sowohl in theoretischer als in praktischer Beziehung von Interesse. Es sind hierdurch einige der Ursachen aufgeklärt, welche die seit langem bekannten Schwankungen der psychologischen Messungen bewirken, und man wird somit künftig, bei genauen Untersuchungen diesen Ursachen Rechnung tragen können. Zweitens haben sie in praktisch-pädagogischer Beziehung die Bedeutung, daß sie zeigen, wie die Arbeitsfähigkeit teils zu bestimmten Jahreszeiten, teils durch gewisse Kombinationen von Temperatur- und Luftdruckveränderungen herabgesetzt wird, so daß nicht immer dieselben Leistungen von den Schülern gefordert werden können.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.